

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

8
2026



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Наш
канал
в МАКС



Наш
Telegram
канал



ВЕТЕРИНАРИЯ

Пробиотики в аквакультуре:
механизмы действия и
технологические подходы

53

ЗООТЕХНИЯ

Здоровье кишечника цыплят-
бройлеров при использовании в
кормлении фитогенной композиции

95

АГРОНОМИЯ

Создание инновационных сортов
перца сладкого с высоким
репродуктивным потенциалом

133

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Редакция журнала «Аграрная наука» приглашает вас к сотрудничеству и предлагает воспользоваться возможностями, которые мы создаем для развития научной коммуникации.

Мы ведем открытый онлайн-календарь отраслевых мероприятий — конференций, симпозиумов, семинаров, вебинаров и школ, и приглашаем организаторов научных ивентов бесплатно размещать анонсы предстоящих событий. Это эффективный способ информировать целевую аудиторию, привлекать участников и докладчиков, а для наших читателей — оставаться в курсе актуальных событий и находить новые возможности для профессионального роста.

Направляйте информацию о ваших мероприятиях на почту agrovetpress@inbox.ru, календарь доступен на нашем сайте.

Редакция открывает прием оригинальных научных статей, обзоров и методических разработок для публикации в 2027 году. Мы приглашаем авторов планировать подачу рукописей уже сейчас — это позволит своевременно представить результаты исследований, учесть их в отчетных и аттестационных материалах, а также расширить присутствие вашей научной школы в ведущем отраслевом издании.

Напоминаем вам также о ежегодной международной премии «Диалог», которая присуждается авторам за выдающиеся публикации в журнале «Аграрная наука» и активный вклад в популяризацию аграрных знаний и развитие научной дискуссии. Мы поощряем лучшие работы, значимые для отрасли, создаем пространство для содержательного диалога между учеными, практиками и молодыми исследователями.

Присоединяйтесь к нашему сообществу, делитесь результатами, анонсируйте события и участвуйте в премии — вместе мы укрепляем аграрную науку и профессиональное взаимодействие.



**ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ
КОМИССИЯ (ВАК)
ПРИ МИНИСТЕРСТВЕ НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Журнал «Аграрная наука»
рекомендован ВАК для публикации
результатов диссертаций по научным
специальностям:**

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
- 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений
- 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры
- 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология
- 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность
- 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии животноводства
- 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса



**Индексация журнала
«Аграрная наука»**

Префикс DOI: 10.32634
eLIBRARY.RU: да
РИНЦ: да
Ядро РИНЦ: да
Рейтинг Science Index: да
Процентиль в рейтинге Science Index: 18
Перечень ВАК РФ: да
Категория в Перечне ВАК РФ: 2
"Белый список": да
Уровень в «Белом списке»: 2
ЕГПНИ: да
Уровень в ЕГПНИ: 2
CrossRef: да
RSCI: да
Базы данных: AGRIS, РИНЦ, DOI, EBSCO
DOAJ: нет
Web of Science: нет
Scopus: нет

**БОЛЬШЕ СТАТЕЙ,
НОВОСТЕЙ
И ВСЕ НОМЕРА ОНЛАЙН
В НАШИХ СОЦСЕТЯХ
И МЕССЕНДЖЕРАХ**

МАКС



ДЗЕН



ВКОНТАКТЕ



ТЕЛЕГРАМ



8 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 409, номер 8, 2026

Volume 409, number 8, 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.

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 13.08.2026

Дата выхода в свет 20.08.2026

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.П. 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, профессор, Прикаспийский 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, профессор, 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.

Лоретт 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.

Миронова 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.

Щербатов 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

Бабиш 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. Полецов, 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.

8 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 409, номер 8, 2026

Volume 409, number 8, 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.

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 13.08.2026

Release date 20.08.2026

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

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

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

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.

Aliiev 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, 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.

16+

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. Gorbатов 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

Babich 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. Gorbатов 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., Горелик О.В., Зинина О.В., Ансори А.Н.М., Колесник Е.А., Пенькова И.В., Ребезов Я.М., Калмыкова Е.В.

Юбилейный год в зеркале наукометрии: анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» в первом полугодии 2026 г. 8

ВЕТЕРИНАРИЯ

Фалуш А.П., Чечнева А.В., Вильмис Д.А. Показания к проведению холецистоцентеза у кошек и собак и его значимость в диагностике заболеваний билиарной системы 22

Семенова К.А., Козлов А.С. Клиническая оценка эффективности препарата фироко при стоматологических и челюстно-лицевых операциях у собак 29

Хороводов А.П., Ларионова О.С., Семакова А.П., Кашковская Л.М., Сафарова М.И. Оценка субхронической токсичности лекарственного препарата Азитронит® ТАБ. 35

Калашников М.В. Оценка антагонистической активности и антибиотикочувствительности штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров 43

Маноян М.Г., Иванова А.Н., Панин А.Н., Иванов А.В. Пробиотики в аквакультуре: механизмы действия и технологические подходы (часть 1) 53

Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Оценка биологических и химических рисков безопасности мяса бурого медведя (*Ursus arctos*): научный обзор 66

ЗООТЕХНИЯ

Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Эйриян Н.А. Молочная продуктивность коров голштинской породы при разных условиях содержания. 77

Яковлева О.С., Денискова Т.Е., Кошкина О.А., Доцев А.В., Соловьева А.Д., Зиновьева Н.А. Характеристика генетической резистентности к вирусу Висна-Маеда у пород овец, разводимых в России 84

Загарин А.Ю., Селионова М.И., Беляева Н.П., Лысенко Ю.А., Куликов Е.И., Жевнеров А.В. Здоровье кишечника цыплят-бройлеров при использовании в кормлении фитогенной композиции 95

Цыб А.М., Харзинова В.Р., Бакоев Н.Ф., Молекулярно-генетическая экспертиза марала (*Cervus elaphus*): разработка мультилокусной STR-панели для установления достоверности происхождения и генетической идентификации 105

АГРОНОМИЯ

Газе В.Л., Лобунская И.А., Черпакова Е.Ю., Донцова А.А. Оценка засухоустойчивости селекционного материала ярового ячменя по показателю остаточный водный дефицит. 114

Астарханова Т.С., Алибалаева Л.И., Березнов А.В. Эффективность гербицида десиканта на зерновых культурах в условиях юга России 119

Пешков С.А., Глинушкин А.П., Кван О.В., Муковоз П.П., Степанов А.Д. Влияние флавоноидов на рост и антиоксидантный статус *Triticum aestivum* L 124

Кигашпаева О.П., Гулин А.В., Лаврова Л.П., Нестеренко Г.И. Создание инновационных сортов перца сладкого с высоким репродуктивным потенциалом в условиях Нижнего Поволжья 133

Овсянникова Е.И., Берим М.Н., Крохалев Р.С. Применение непараметрических методов статистического анализа для оценки связей видового состава и динамики численности тлей, отловленных ловушками Малеза, с метеорологическими показателями в 2021–2024 гг. 139

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Рахимжанова И.А., Петько В.Г., Пугачев В.В., Фомин М.Б., Пушко В.А., Байков А.С., Косилов В.И., Абдюкаева А.Ф., Губашев Н.М. Систематизированный обзор и оценка применяемых систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения автономных объектов АПК 151

Прец М.А., Зинуров В.Э. Оценка геометрического масштабирования мультивихревого воздушного классификатора для линий переработки пищевых порошков. 160

Хохичко А.Н. Формирование компетенций распределенной обработки данных и машинного обучения для агропромышленных информационных сетей у обучающихся аграрных направлений подготовки: методическая система и результаты экспериментальной апробации 168

Цветков А.Н. Адаптивные алгоритмы управления электроприводами насосных установок оросительных систем в условиях цифровизации агропромышленного комплекса: стендовые исследования и производственная верификация. 175

CONTENTS

EDITOR'S COLUMN

Violin B.V., Rebezov M.B., Gorelik O.V., Zinina O.V., Ansori A.N.M., Kolesnik E.A., Penkova I.V., Rebezov Ya.M., Kalmykova E.V. The Anniversary

Year in the Mirror of Scientometrics: An Analysis of Publication Activity of the Journal Agrarian Science in the First Half of 2026 8

VETERINARY MEDICINE

Falush A.P., Chechneva A.V., Vilms D.A. Indications for cholecystocentesis in cats and dogs and its diagnostic significance in diseases

of the biliary system 22

Semenova K.A., Kozlov A.S. Clinical evaluation of the efficacy of firocoxib in dental and maxillofacial surgery in dogs 29

Khorovodov A.P., Larionova O.S., Semakova A.P., Kashkovskaya L.M., Safarova M.I. Evaluation of subchronic toxicity of the drug Azitronit® TAB 35

Kalashnikov M.V. Evaluation of antagonistic activity and antibiotic susceptibility of *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines
of broiler chickens 43

Manoyan M.G., Ivanova A.N., Panin A.N., Ivanov A.V. Probiotics in aquaculture: mechanisms of action and technological approaches (Part 1) 53

Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Assessment of Biological and Chemical Risks to the Safety of Brown Bear (*Ursus arctos*)

Meat: A Scientific Review 66

ZOOTECHNICS

Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Eyrian N.A. Milk productivity of Holstein cows under different housing conditions 77

Yakovleva O.S., Deniskova T.E., Koshkina O.A., Dotsev A.V., Solovieva A.D., Zinovieva N.A. Characteristics of genetic resistance
to Maedi-visna in sheep breeds raised in Russia 84

Zagarin A.Yu., Selionova M.I., Belyaeva N.P., Lysenko Yu.A., Kulikov E.I., Zhevnerov A.V. The health of broiler chickens' intestines when
using a phytogenic composition in their diet 95

Tsyb A.M., Kharzinova V.R., Bakoev N.F. Molecular genetic examination of maral (*Cervus elaphus*): development of a multilocus STR panel
to establish the reliability of origin and genetic identification 105

AGRONOMY

Gaze V.L., Lobunskaya I.A., Cherpakova E.Yu., Dontsova A.A. Estimation of drought tolerance of spring barley breeding material according
to the residual water deficit indicator. 114

Astarkhanova T.S., Alibalaeva L.I., Bereznev A.V. Effectiveness of herbicide desiccant on grain crops in the conditions of Southern Russia 119

Peshkov S.A., Glinushkin A.P., Kvan O.V., Mukovoz P.P., Stepanov A.D. Effects of flavonoids on the growth and antioxidant status
of *Triticum aestivum* L 124

Kigashpaeva O.P., Gulina A.V., Lavrova L.P., Nesterenko G.I. Development of innovative sweet pepper varieties with high reproductive
potential under the conditions of the Lower Volga region 133

Ovsyannikova E.I., Berim M.N., Krokhaev R.S. Application of nonparametric statistical analysis methods to assess the relationships between
species composition and population dynamics of aphids captured by Malaise traps and meteorological indicators in 2021–2024 139

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Rakhimzhanova I.A., Petko V.G., Pugachev V.V., Fomin M.B., Pushko V.A., Baykov A.S., Kosilov V.I., Abdyukaeva A.F., Gubashev N.M.

Systematized review and assessment of heating, hot water supply, and power supply systems used in autonomous agricultural facilities 151

Prets M.A., Zinurov V.E. Assessment of geometric scaling of a multi-vortex air classifier for food powder processing lines. 160

Kokhichko A.N. Development of distributed data processing and machine learning competencies for agro-industrial information networks
in students of agricultural study programmes: methodological system and experimental validation 168

Tsvetkov A.N. Adaptive control algorithms for electric drives of irrigation pumping units in the context of agricultural digitalization: bench
studies and on-farm verification. 175

УДК 002.63

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-8-21

Б.В. Виолин¹ ✉
М.Б. Ребезов^{2,3}
О.В. Горелик³
О.В. Зинина^{3,4}
А.Н.М. Ансори^{5,6}
Е.А. Колесник⁷
И.В. Пенькова⁸
Я.М. Ребезов⁹
Е.В. Калмыкова¹⁰

¹ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ВНИИ экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко, Москва, Россия

²ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

⁴Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

⁵Университет Эйрланга, Мульорепо, Индонезия

⁶Университет Уттаранчал, Дехрадун, Индия

⁷Государственный университет просвещения, Москва, Россия

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

⁹Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Новгород, Россия

¹⁰ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

✉ agrovetpress@inbox.ru

Поступила в редакцию: 01.07.2026

Одобрена после рецензирования: 15.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

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

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-8-21

Boris V. Violin¹ ✉
Maksim B. Rebezov^{2,3}
Olga V. Gorelik³
Oksana V. Zinina^{3,4}
Arif N. M. Ansori^{5,6}
Evgeniy A. Kolesnik⁷
Inessa V. Penkova⁸
Yaroslav M. Rebezov⁹
Elena V. Kalmykova¹⁰

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

⁴South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

⁵Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

⁶Uttaranchal University, Dehradun, India

⁷State University of Education, Moscow, Russia

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

⁹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

¹⁰Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

✉ agrovetpress@inbox.ru

Received by the editorial office: 01.07.2026

Accepted in revised: 15.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Violin B.V., Rebezov M.B., Gorelik O.V., Zinina O.V., Kolesnik E.A., Penkova I.V., Rebezov Ya.M., Kalmykova E.V.

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

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В 2026 г. научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука», издаваемый с 1956 г., отмечает 70-летний юбилей. В контексте юбилейной даты закономерен интерес к библиометрическим показателям издания, которые служат унифицированным инструментом оценки качества научных коммуникаций и востребованности в профессиональном сообществе. Наукометрический анализ позволяет объективно оценить динамику развития журнала и выработать стратегию его дальнейшего совершенствования.

Методы. Объект исследования — публикационная активность журнала «Аграрная наука» за первое полугодие 2026 г. Предмет исследования — массив метаанных научных публикаций, включающий 101 работу. Анализ проведен с применением проблемно-тематического и системного подходов. Авторский вклад рассчитывался долевым методом (1 статья = 1 единица научной продукции). Для количественной оценки дифференциации организаций по нормализованной доле публикационной активности применен коэффициент вариации (CV).

Результаты. Установлено, что в отчетный период опубликовано 72% исследовательских статей при доминировании раздела «Зоотехния и ветеринария» (43 работы). Среднее число соавторов на одну публикацию — 3,62. В подготовке материалов участвовали 409 авторов из 93 организаций, представляющих 31 субъект РФ и 9 зарубежных стран. Преобладают авторы из образовательных учреждений (51,6%). Квалификационная структура характеризуется высокой долей исследователей с учеными степенями (78%). Основным источником финансирования выступают инициативные средства соавторов (40 публикаций), при значимой роли государственного задания (38) и грантовой поддержки (23). Средний объем библиографического аппарата достиг 31,1 ссылки на статью, что свидетельствует о расширении информационной базы и повышении качества публикуемых материалов. Полученные данные подтверждают устойчивое развитие журнала и его интеграцию в национальное и международное научное пространство.

Ключевые слова: публикационная активность журнала, наукометрический анализ, научные публикации, статистический анализ, авторы, библиография, география авторов, сельскохозяйственная наука, финансирование исследований,

Для цитирования: Виолин Б.В. и др. Юбилейный год в зеркале наукометрии: анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» в первом полугодии 2026 г. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 8–21.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-8-21>

The Anniversary Year in the Mirror of Scientometrics: An Analysis of Publication Activity of the Journal Agrarian Science in the First Half of 2026

ABSTRACT

Relevance. In 2026, the scientific-theoretical and production journal Agrarian Science, published since 1956, celebrates its 70th anniversary. In the context of this milestone, bibliometric indicators of the journal attract legitimate scholarly interest, as they serve as a universally recognized instrument for assessing the quality of scientific communication and the degree of recognition within the professional community. Scientometric analysis enables an objective evaluation of the journal's developmental dynamics and provides a basis for formulating strategies for its further advancement.

Methods. The object of the study is the publication activity of the journal Agrarian Science during the first half of 2026. The subject of the study is a dataset of metadata from scientific publications, comprising 101 works. The analysis employed problem-thematic and systemic approaches. Author contribution was calculated using a fractional counting method (1 article = 1 unit of scientific output). To quantify the differentiation of organizations by normalized share of publication activity, the coefficient of variation (CV) was applied.

Results. It was established that during the reporting period, 72% of the published works were research articles, with a predominance of the section "Animal Science and Veterinary Medicine" (43 papers). The average number of co-authors per publication was 3.62. A total of 409 authors from 93 organizations representing 31 constituent entities of the Russian Federation and 9 foreign countries contributed to the published materials. Authors affiliated with educational institutions predominate (51.6%). The qualification structure is characterized by a high proportion of researchers holding academic degrees (78%). The primary source of funding was authors' own initiative funds (40 publications), with substantial contributions from state assignments (38) and grant support (23). The average length of the bibliographic apparatus reached 31.1 references per article, indicating an expansion of the information base and an increase in the quality of published materials. The obtained data confirm the sustainable development of the journal and its integration into both the national and international scientific landscape.

Key words: journal publication activity, scientometric analysis, scientific publications, statistical analysis, authors, bibliography, author geography, agricultural science, research funding

For citation: Violin B.V. et al. The Anniversary Year in the Mirror of Scientometrics: An Analysis of Publication Activity of the Journal Agrarian Science in the First Half of 2026. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 8–21 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-8-21>

Введение/Introduction

Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука», ведущий свою историю с 1956 г., в 2026 г. отмечает семидесятилетие. В контексте юбилейной даты закономерен интерес к библиометрическим показателям издания, которые являются общепризнанным измерителем качества научных коммуникаций и степени признания в профессиональном сообществе [1–3]. Как подчеркивается в работах [4–7], наукометрический инструментальный служит основой для объективной оценки и выработки стратегии развития периодического издания.

Настоящее исследование представляет собой статический срез публикационной активности журнала «Аграрная наука» за первое полугодие 2026 г. Выбор данного временного интервала обусловлен юбилейным статусом года и необходимостью оперативного получения актуальных данных о текущем состоянии издания. В силу временных рамок исследование не предполагает анализа долгосрочной динамики наукометрических показателей. Предметом настоящей работы является комплексная характеристика публикационной активности журнала «Аграрная наука» в первом полугодии 2026 г., что позволяет зафиксировать текущее состояние издания в юбилейный период.

Полученные результаты могут служить основой для последующего мониторинга и сравнительного анализа с аналогичными данными за 2027 г. и последующие годы. Сравнение с предыдущими периодами (2020–2025 гг.) требует отдельного исследования и не входит в задачи данной работы.

Материал и методы исследования / Material and methods

Объект исследования — публикационная активность ежемесячного научного журнала «Аграрная наука». В журнале 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 по журналу «Аграрная наука».

Предмет исследования — массив данных журнала «Аграрная наука», опубликованных в первом полугодии 2026 г. Выбор первого полугодия 2026 г. в качестве анализируемого периода обусловлен юбилейным статусом года, а также необходимостью получения актуальных данных о публикационной активности журнала за завершённый отчетный интервал, достаточный для репрезентативной оценки ключевых наукометрических показателей.

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

Для количественной оценки участия организаций в подготовке публикаций использован нормализованный долевым методом (*fractional counting*), который является стандартным инструментом библиометрического анализа и позволяет корректно распределить «вес» публикации между соавторами и их аффилиациями при множественном учете организаций [8, 9].

В соответствии с данным подходом каждая научная статья принимается за одну единицу научной продукции ($1 \text{ статья} = 1$), а вклад (доля D) каждого соавтора (N) рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{1}{N}, \quad (1)$$

Если автор указал 2 аффилиации, то его доля $1/N$ делится поровну между ними. Применение данной формулы не преследует цели оценить реальный персональный научный вклад каждого исследователя, который в практике научного сотрудничества практически никогда не является строго равным. Напротив, долевым методом выполняется сугубо метрическую функцию, обеспечивая нормализацию данных для корректного сопоставления организаций по их участию в публикационном потоке. Такой подход соответствует редакционной политике журнала «Аграрная наука» и достаточно широко применяется в наукометрических исследованиях при анализе организационной структуры авторских коллективов.

В случаях, когда автор указывает несколько аффилиаций, рассчитанная по формуле (1) доля (D) распределяется пропорционально между всеми заявленными организациями. Для научных публикаций, подготовленных соавторами из разных организаций, вклад каждой организации рассчитывался как сумма долей всех авторов, аффилированных с данной организацией. В случаях, когда один автор был аффилирован с несколькими организациями, его доля учитывалась в каждой из них в полном объеме, что позволяет сохранить информацию о межорганизационном взаимодействии и не допускает занижения вклада отдельных учреждений.

Обработка данных выполнялась методами описательной статистики, так как исследование носит наукометрический обзорный характер и не предполагает проверки статистических гипотез. Представлены абсолютные и относительные показатели распределения публикаций по критериальным параметрам.

Показатель нормализованной доли организаций считался в единицах ($1 \text{ статья} = 1 \text{ единица научной продукции}$). В целях углубленного анализа рассчитан коэффициент концентрации (K)¹, определяемый как отношение нормализованной доли организации к ее доле в общем числе публикаций.

¹ Sivertsen G., Rousseau R., Zhang L. Measuring scientific contributions with modified fractional counting. Journal of Informetrics. 2019; 13(2): 679–694. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.03.010>

Значение $K > 1$ свидетельствует о том, что организация публикуется преимущественно в малочисленных коллективах (высокая «удельная» активность), тогда как $K < 1$ указывает на преобладание крупных авторских групп.

Для количественной оценки степени дифференциации организаций по нормализованной доле публикационной активности в каждом из тематических разделов применен коэффициент вариации (CV)², рассчитываемый по формуле:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%, \quad (2)$$

где: σ — выборочное стандартное отклонение нормализованных долей организаций в соответствующем разделе, $\bar{x}$ — среднее арифметическое значение нормализованной доли.

Коэффициент вариации представляет собой относительную меру разброса данных и позволяет сопоставлять степень дифференциации между разделами с различными масштабами средних значений. Согласно общепринятой шкале интерпретации³, значения $CV < 33\%$ свидетельствуют о низкой вариабельности (однородной структуре), $33\text{--}66\%$ — об умеренной, $CV > 66\%$ — о высокой степени дифференциации распределения.

В настоящем исследовании расчет CV выполнен для каждого тематического раздела на основе массива нормализованных долей организаций-участников. Высокие значения коэффициента вариации (более 100%) интерпретируются как наличие выраженной асимметрии в распределении, при которой доминирующий вклад в публикационный портфель раздела обеспечивает ограниченное число организаций (лидеров по публикациям в изучаемом периоде).

Метаданные научных публикаций собраны с официального сайта журнала и верифицированы по данным РИНЦ. Систематизация, статистическая обработка (расчет абсолютных и относительных величин, средних значений) и визуализация результатов выполнены в Microsoft Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В первом полугодии 2026 года в журнале опубликовано 101 научная статья, из них 72 исследовательских статьи, 13 научных обзоров и 16 кратких сообщений.

Распределение по типам публикаций (исследовательские статьи,

научные обзоры и краткие сообщения) и по номерам журнала за первое полугодие 2026 г. представлено на рис. 1.

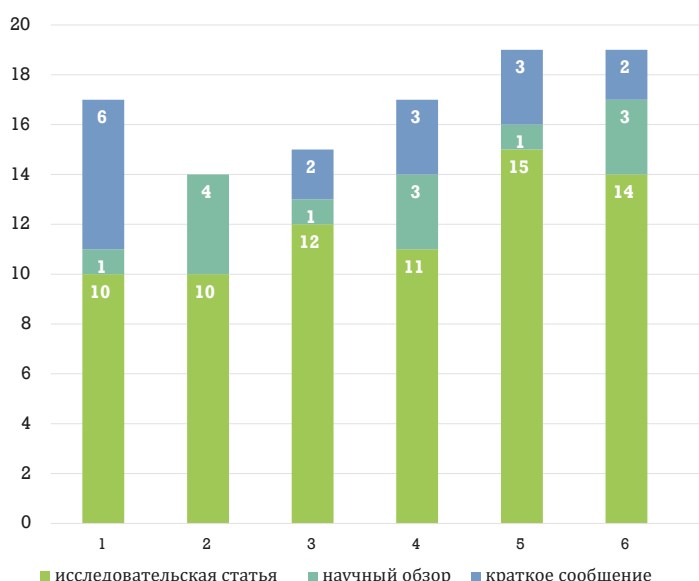
Анализ данных, представленных на рис. 1, показывает, что исследовательские статьи составляют основу публикационного портфеля журнала «Аграрная наука» во всех шести номерах: их доля варьирует от 58,8% (во втором номере) до 78,9% (в пятом). Наибольшее количество исследовательских статей зафиксировано в пятом номере (15), наименьшее — во втором (10). Научные обзоры представлены неравномерно: их число колеблется от 0 (в пятом номере) до 4 (во втором). Краткие сообщения публикуются преимущественно в нечетных номерах, достигая максимума в первом выпуске (6); во втором номере данный тип публикаций отсутствует. За первое полугодие 2026 г. опубликована 101 научная работа, из которых 72 (71,3%) составляют исследовательские статьи, 13 (12,9%) — обзоры, 16 (15,8%) — краткие сообщения. Преобладание исследовательских статей соответствует профилю рецензируемого научного журнала «Аграрная наука» и сложившейся редакционной политике издания.

Процентное соотношение количества опубликованных исследований в 2026 г. по данному разделу представлено на рис. 2.

Анализ распределения публикаций по тематическим разделам показывает, что наибольшее количество работ — 43 — опубликовано в разделе «Зоотехния и ветеринария», из которых 36 составляют исследовательские статьи (83,7%). В разделе «Агрономия» опубликовано 27 работ (26 исследовательских статей и 1 краткое сообщение). Раздел «Агроинженерия и пищевые технологии»

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

Fig. 1. Distribution of publications by type of scientific output and journal issue in Agrarian Science during the first half of 2026



² Snedecor G.W., Cochran W.G. Statistical Methods. 8th ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503 p.

³ Everitt B.S., Skrondal A. The Cambridge Dictionary of Statistics. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 480 p.

Рис. 2. Распределение публикаций по тематическим разделам и типам научных работ в журнале «Аграрная наука» (первое полугодие 2026 г.), ед.

Fig. 2. Distribution of publications by thematic sections and types of scientific papers in the journal Agrarian Science (first half of 2026), units.



представлен 20 публикациями (7 исследовательских статей, 6 обзоров и 7 кратких сообщений). В объединенном разделе «Региональная и отраслевая экономика и др.» опубликовано 4 работы (3 исследовательские статьи и 1 краткое сообщение), по теме экономика — 2. В рубрике «От редактора» представлено 7 материалов аналитического характера публикационной активности журнала «Аграрная наука».

Таким образом, исследовательские статьи преобладают во всех основных разделах, при этом их максимальная доля зафиксирована в разделе «Зоотехния и ветеринария» (83,7%), что отражает сложившийся профиль журнала и высокую активность авторов в данной предметной области.

Анализ языковой структуры публикаций показывает, что подавляющее большинство работ (более 99%) опубликовано на русском языке. Единственным исключением является статья исследователей из Турции, подготовленная на английском языке. Это указывает на то, что в первом полугодии 2026 г. журнал «Аграрная наука» сохраняет преимущественно русскоязычную ориентацию. При этом участие авторов из 9 зарубежных стран, чьи научные работы представлены на русском языке, расширяет географию издания, но для повышения его цитируемости в международных базах данных (Web of Science, Scopus и др.) в будущем представляется целесообразным увеличить долю англоязычных публикаций, сохраняя при этом высокие стандарты научного содержания журнала «Аграрная наука».

Распределение научных публикаций в журнале по количеству соавторов в одной единице публикации за первое полугодие 2026 г. в журнале «Аграрная наука» представлено на рис. 3.

Среднее число соавторов на одну научную публикацию составило 3,62. Минимальное количество соавторов — 1 (в шести публикациях), максимальное — 9 (в двух публикациях). Медианное значение числа соавторов равно 3, а стандартное отклонение составляет 1,90, что указывает на умеренный разброс данных. Близость среднего и медианного значений (3,62 и 3 соответственно) свидетельствует о симметричности распределения с преобладанием публикаций, подготовленных коллективами из 3–4 авторов (более 60% от общего числа). Число публикаций с одним автором невелико — 6%, тогда как доля работ с 5 и более соавторами достигает 33%, что отражает устойчивую тенденцию к коллективной форме научных исследований в аграрной науке.

409 авторов⁴ из научных, образовательных и других организаций опубликовали результаты научных исследований в первом полугодии журнала «Аграрная наука» в 2026 г.

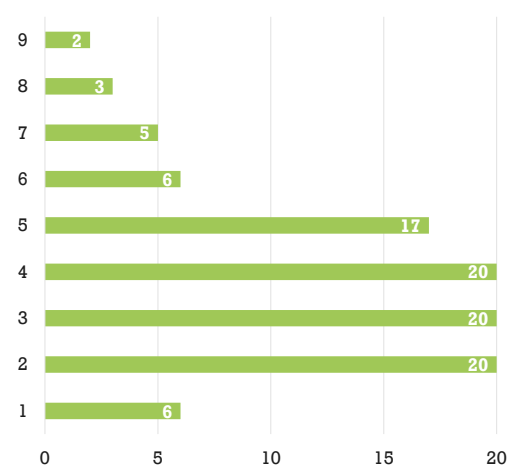
Процентное соотношение авторов научных публикаций по профилю деятельности организации представлено на рис. 4.

При анализе данных, представленных на рис. 4, установили, что преобладают представители образовательных учреждений — 211 (51,6%), доля научных организаций — 179 (43,8%), иных — 19 (4,6%). Наибольшая активность зафиксирована в разделе «Зоотехния и ветеринария» — 186 авторов (45,5%), из них 92 (49,5%) — из

зоотехнических и ветеринарных организаций. В разделе «Агроинженерия и пищевые технологии» — 107 авторов (26,2%), из них 53 (49,5%) — из агроинженерных и пищевых технологий. В разделе «Агрономия» — 106 авторов (25,9%), из них 53 (49,5%) — из агрономических организаций. В разделе «Региональная и отраслевая экономика и др.» — 44 автора (10,7%), из них 22 (49,5%) — из региональных и отраслевых организаций. В разделе «От редактора» — 7 авторов (1,7%), из них 0 (0%) — из редакционных организаций.

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

Fig. 3. Distribution of publications by number of co-authors per paper in Agrarian Science for the first half of 2026



⁴ Некоторые авторы имели несколько аффилиаций, учитывались все аффилиации. Учет всех аффилиаций — стандартная практика при анализе публикационной активности, которая предотвращает потерю данных об организациях. При таком подходе каждая статья засчитывается каждой из указанных в ней аффилиаций.

Рис. 4. Количество и процентное распределение авторов по категориям аффилированных организаций в тематических разделах журнала «Аграрная наука» (первое полугодие 2026 г.)

Fig. 4. Number and percentage distribution of authors by category of affiliated organization across the thematic sections of the journal Agrarian Science (first half of 2026)

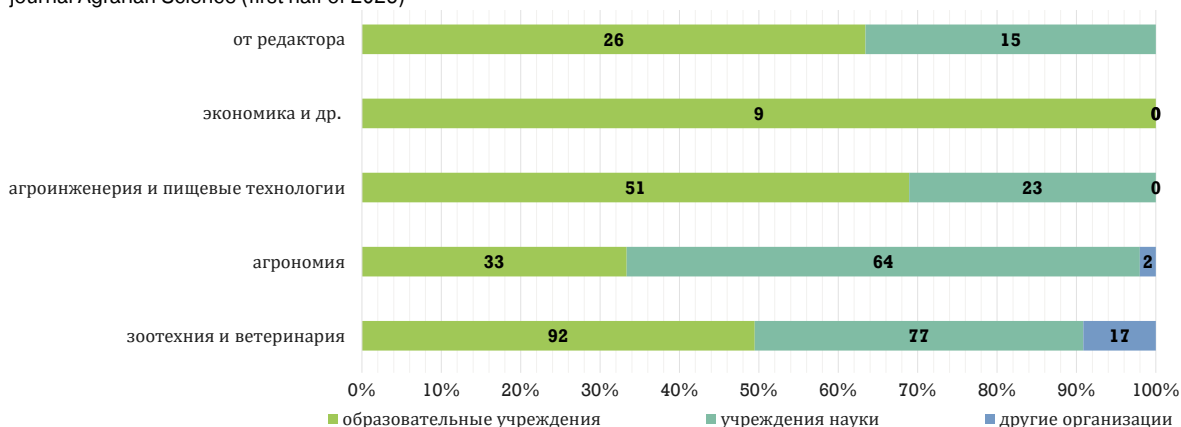
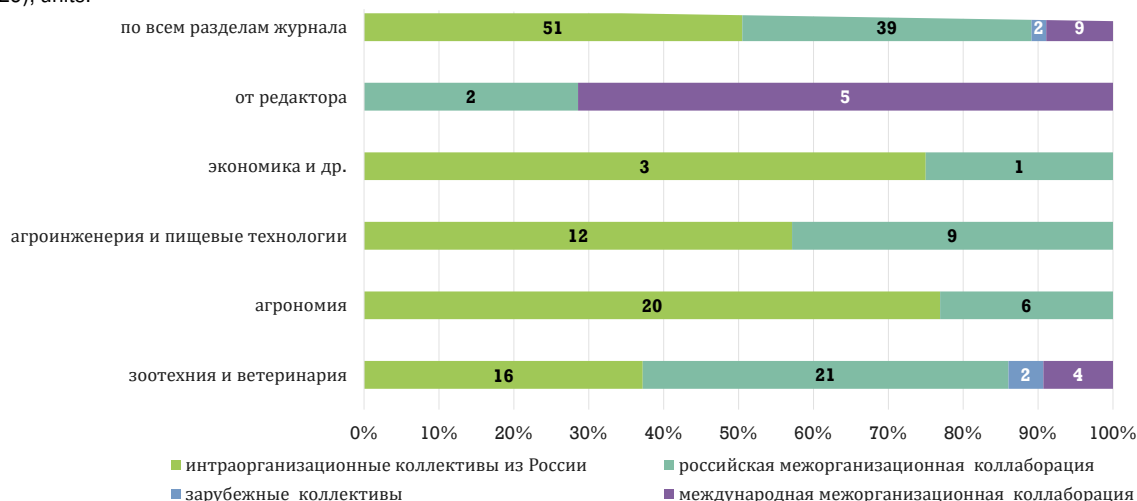


Рис. 5. Распределение публикаций по типам научных коллективов в тематических разделах журнала «Аграрная наука» (первое полугодие 2026 г.), ед.

Fig. 5. Distribution of publications by type of scientific team across the thematic sections of the journal Agrarian Science (first half of 2026), units.



образовательных учреждений, 77 (41,4%) — из научных. В разделе «Агрономия» — 99 авторов (24,2%): 33 (33,3%) и 64 (64,6%) соответственно; в разделе «Агроинженерия и пищевые технологии» — 74 автора (18,1%): 51 (68,9%) и 23 (31,1%). Раздел «Экономика» представлен 9 авторами (2,2%) из образовательных учреждений. В рубрике «От редактора» — 41 автор (10,0%): 26 (63,4%) из образовательных, 15 (36,6%) из научных организаций. Аффiliationная структура характеризуется доминированием образовательных учреждений (51,6%) при значительной доле научных организаций (43,8%); наибольшее число авторов сосредоточено в разделе «Зоотехния и ветеринария» (45,5%).

Повышение эффективности исследовательской деятельности обусловлено прогрессом научных школ и углублением межорганизационного сотрудничества, что позволяет интегрировать разноплановые компетенции и укреплять авторитет отечественной науки в глобальном академическом пространстве. В работе [10] М.Б. Ребезовым с соавторами предложено использовать термин «интраорганизационный» для обозначения коллективов, полностью аффилированных с одной

русской организацией.

Распределение публикаций по типам научных коллективов в первом полугодии 2026 г. иллюстрирует рис. 5.

В первом полугодии 2026 г. в журнале «Аграрная наука» опубликован 51 материал, подготовленный интраорганизационными коллективами из России, что составляет 50,5% от общего числа публикаций. Межинституциональное взаимодействие внутри страны отражено в 39 публикациях (38,6%). Международное соавторство представлено 9 работами (8,9%), выполненными российскими исследователями совместно с зарубежными партнёрами; еще 2 статьи (2,0%) подготовлены авторами из Кыргызстана и Турции без соавторов из Российской Федерации.

Наибольшее число интраорганизационных публикаций зафиксировано в разделе «Агрономия» (20), тогда как в разделе «Зоотехния и ветеринария» преобладают межорганизационные коллаборации (21). Международные коллективы представлены исключительно в разделах «Зоотехния и ветеринария» (2 зарубежных и 4 международных) и в рубрике «От редактора» (5 международных).

Расширение географического охвата подтверждается участием ученых из Казахстана, Польши и Таджикистана в тематических разделах журнала, а также привлечением зарубежных членов редколлегии (Египет, Индонезия, Камерун, Кыргызстан) наряду с российскими представителями к формированию аналитических материалов рубрики «От редактора».

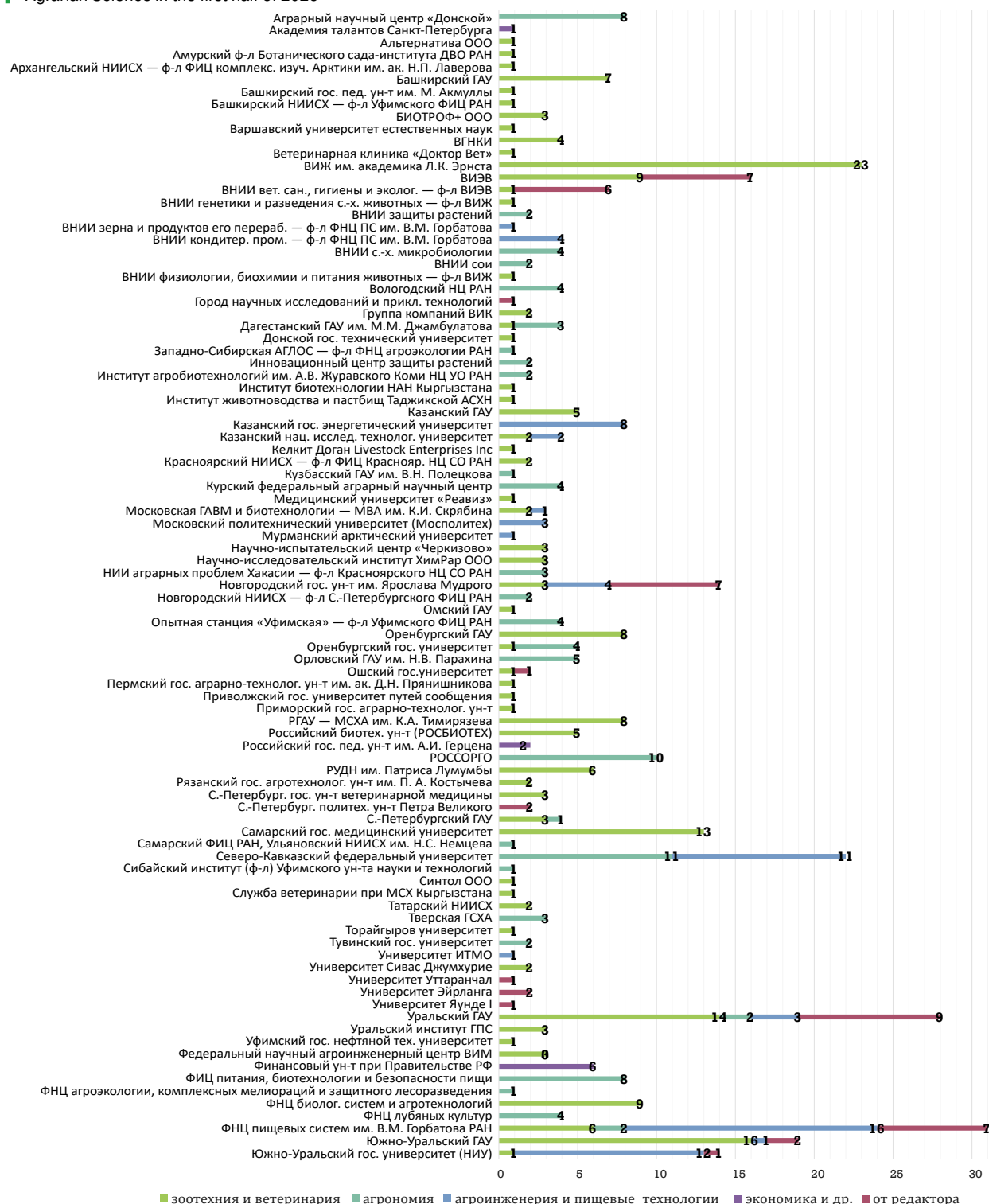
Таким образом, в структуре научных коллективов преобладают интраорганизационные коллективы

(50,5%) и российские межорганизационные коллаборации (38,6%), что свидетельствует о развитой системе внутрироссийского научного взаимодействия. Доля международного соавторства составляет 10,9% (9 международных и 2 зарубежных публикации), что указывает на растущую интеграцию журнала в глобальное научное пространство.

Распределение 409 авторов⁴ из 93 организаций и учреждений разделам журнала «Аграрная наука» за первое полугодие 2026 г. представлено на рис. 6.

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

Fig. 6. Distribution of authors by organization (institution), accounting for multiple affiliations, across the sections of the journal Agrarian Science in the first half of 2026



Широкая география авторского коллектива — важный индикатор репрезентативности журнала и его интеграции в национальное научное пространство. В анализируемый период в журнале представлены исследователи из 93 организаций различного профиля — от аграрных вузов до академических институтов и отраслевых НИИ, что свидетельствует о межрегиональном охвате и консолидации усилий в решении приоритетных задач агропромышленного комплекса.

Наибольшее число авторов представлено следующими организациями: ВИЖ им. Л.К. Эрнста (23, раздел «Зоотехния и ветеринария»); Южно-Уральский ГАУ (16); Уральский ГАУ (14); Самарский гос. медицинский университет (13); Северо-Кавказский федеральный университет (по 11 в разделах «Агрономия» и «Агроинженерия и пищевые технологии»); РОССОРГО (10, «Агрономия»); ВИЭВ (9) и ФНЦ биологических систем и агротехнологий (9) — последние три организации представлены в разделе «Зоотехния и ветеринария».

В разрезе тематических разделов лидерами по числу авторов являются: в разделе «Зоотехния и ветеринария» — ВИЖ им. Л.К. Эрнста (23), Южно-Уральский ГАУ (16) и Уральский ГАУ (14); в разделе «Агрономия» — РОССОРГО (10), Аграрный НЦ «Донской» (8) и ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи (8); в разделе «Агроинженерия и пищевые технологии» — ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова (16), ЮУрГУ (12) и СКФУ (11); в разделе «Региональная и отраслевая экономика» — Финансовый университет при Правительстве РФ (6); в рубрике «От редактора» — ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (7), ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова (7) и НовГУ им. Ярослава Мудрого (7).

Наряду с количественной оценкой публикационной активности значимую аналитическую ценность представляет показатель нормализованной доли организаций (рис. 7, табл. 1), отражающий распределение их участия в подготовке публикаций в долях единицы (1 статья = 1 единица научной продукции).

Расчет основан на аффилиации авторов с организациями, в которых выполнялись исследования.

Данный показатель позволяет нивелировать эффект различной численности авторских коллективов и даёт более объективное представление о вкладе каждой организации в публикационный портфель журнала.

Для количественной оценки степени дифференциации организаций по нормализованной доле в каждом из тематических разделов рассчитан коэффициент вариации (CV), определяемый как отношение стандартного отклонения к среднему арифметическому значению нормализованных долей, выраженное в процентах. Высокие значения коэффициента вариации (115–220%) свидетельствуют о значительной вариативности распределения нормализованных долей организаций, что указывает на их существенную дифференциацию: доминирующий вклад в публикационный портфель каждого раздела обеспечивает ограниченное число организаций-лидеров, тогда как большинство участников представлены незначительными долями.

Подобная структура характерна для наукометрических распределений, подчиняющихся закону Парето («принцип 80/20» здесь работает как «12-18% организаций 80% вклада»), и отражает естественную концентрацию научного потенциала в ведущих исследовательских центрах.

Представим результаты анализа по разделам журнала:

– «Зоотехния и ветеринария» (CV = 115%), несмотря на наибольшее число организаций-участников (56), сохраняется выраженная концентрация: четыре организации-лидера — ВИЖ им. Л.К. Эрнста (5,35), Южно-Уральский ГАУ (4,00), Уральский ГАУ (2,77) и ВИЭВ (2,50) — аккумулируют 14,62 из 19,40 суммарной нормализованной доли раздела, что составляет более 75 %.

– «Агрономия» (CV = 220%) дифференциация наиболее высока: три организации-лидера — РОССОРГО (3,00), ФНЦ лубяных культур (2,00) и Аграрный НЦ «Донской» (2,00) — обеспечивают 7,00 из 10,00 суммарной нормализованной доли раздела, что подтверждает высокую концентрацию публикаций в профильных аграрных научных центрах.

– «Агроинженерия и пищевые технологии» (CV = 220%) доминируют три организации: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова (3,52), Казанский ГАУ (3,00) и Южно-Уральский гос. университет (2,71), на долю которых приходится более половины суммарной нормализованной доли раздела.

– «Региональная и отраслевая экономика» включает 2 организации, суммарная нормализованная доля которых составляет 3,330. Столь малое число наблюдений ($n = 2$) не позволяет применять статистические методы оценки вариативности, в связи с чем анализ ограничен описательной характеристикой распределения: Финансовый университет при Правительстве РФ аккумулирует 3,000 из 3,330 (более 90% суммарной доли), что

Табл. 1. Статистические показатели по разделам журнала

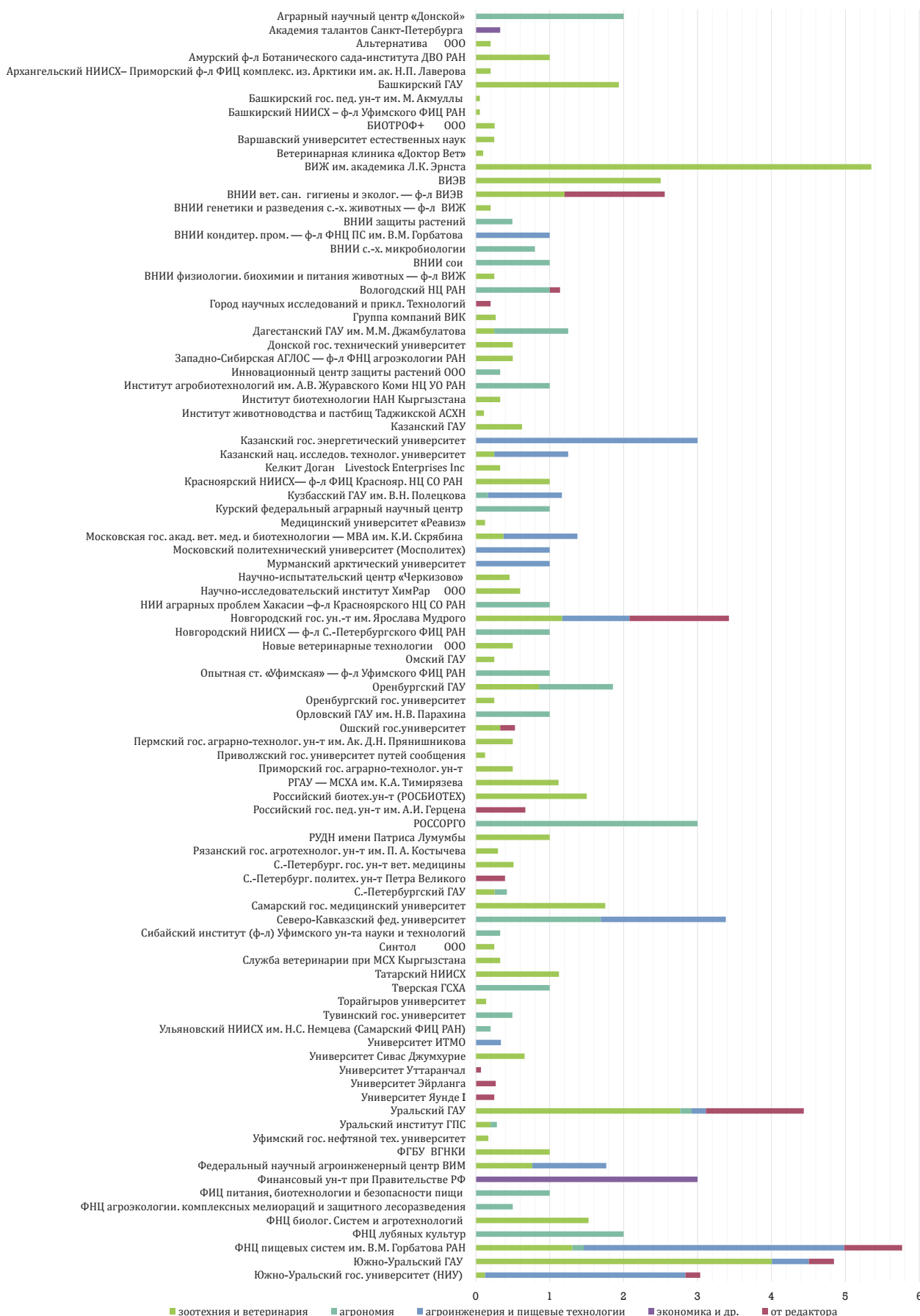
Table 1. Statistical indicators by journal sections

Раздел	Число организаций	Средняя	Медиана	Коэффициент вариации, %	Максимальная доля
Зоотехния и ветеринария	56	0,35	0,23	115	5,35
Агрономия	28	0,36	0,41	220	3,00
Агроинженерия и пищевые технологии	27	0,41	0,50	220	3,52
Региональная и отраслевая экономика	2	1,67	1,67	н/п	3,00
От редактора	14	0,34	0,26	130	1,36

Рис. 7. Распределение авторского вклада нормализованных долей организаций (с учетом множественных аффилиаций) в разрезе разделов журнала «Аграрная наука» (первое полугодие 2026 г.)

Fig. 7. Distribution of normalized contribution shares of organizations (accounting for multiple affiliations) across the thematic sections of the journal Agrarian Science (first half of 2026)

Примечание: за единицу научной продукции принята одна опубликованная статья, расчет выполнен по формуле (1)



свидетельствует о выраженной концентрации публикационной активности в одной организации.

– «От редактора». Тут зафиксировано наименьшее значение коэффициента вариации ($CV = 130\%$), что указывает на относительно равномерное распределение нормализованных долей среди организаций-участников. Данная рубрика формируется аналитическими материалами, подготовленными при участии ограниченного числа авторов — членов редакционной коллегии журнала «Аграрная наука», что обеспечивает более однородную структуру участия.

Анализируя рис.7 и табл.1 авторы представляют распределение по тематическим разделам журнала «Аграрная наука»:

– «Зоотехния и ветеринария» (56 организаций). Лидерами по числу публикаций являются ВИЖ им. Л.К. Эрнста (23) и Южно-Уральский ГАУ (16). Наибольший показатель нормализованного участия зафиксирован у ВИЖ им. Л.К. Эрнста (5,35), Южно-Уральского ГАУ (4,00), Уральского ГАУ (2,77) и ВИЭВ (2,50). Коэффициент концентрации наиболее высок у организаций с малым числом публикаций: например, у ВГНКИ (1 публикация, доля 1,00; $K = 7,2$) и Амурского ф-ла Ботанического сада-института ДВО РАН (1 публикация, доля 1,00; $K = 7,2$). Среди лидеров по числу публикаций коэффициент концентрации варьирует: у ВИЖ им. Л.К. Эрнста ($K = 1,68$) он ниже, чем у Южно-Уральского ГАУ ($K = 1,81$) и Уральского ГАУ ($K = 1,43$), что отражает различия в средней численности авторских коллективов.

– «Агрономия» (28 организаций). Наибольшее число публикаций — у РОССОРГО (10), Аграрного НЦ «Донской» (8) и ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи (8). По нормализованной доле лидируют РОССОРГО (3,00), ФНЦ лубяных культур (2,00) и Аграрный НЦ «Донской» (2,00). Коэффициент концентрации максимален у организаций с единичными публикациями (Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского — 1 публикация, доля 1,00; $K = 7,0$), тогда как у РОССОРГО ($K = 2,16$) и Аграрного НЦ «Донской» ($K = 1,81$) он умеренный, что свидетельствует о сбалансированной структуре авторских коллективов.

– «Агроинженерия и пищевые технологии» (27 организаций). Первые позиции по публикациям занимают ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова (16), Южно-Уральский гос. университет (12) и Северо-Кавказский федеральный университет (11). Максимальная нормализованная доля — у ФНЦ пищевых систем (3,52), Казанского ГЭУ (3,00) и ЮУрГУ (2,71). Коэффициент концентрации у ФНЦ пищевых систем ($K = 1,59$) ниже, чем у Казанского ГЭУ ($K = 2,71$), что объясняется различиями в средней численности соавторов: в публикациях ФНЦ пищевых систем преобладают коллективы из 4–5 авторов, тогда как у Казанского ГЭУ — из 2–3 авторов.

– «Региональная и отраслевая экономика» (2 организации). Наиболее продуктивен в этом

разделе Финансовый университет при Правительстве РФ (6 публикаций, нормализованная доля — 3,00; $K = 0,50$). Вторая организация-участник (1 публикация) имеет нормализованную долю 0,33 ($K = 1,00$). Таким образом, Финансовый университет аккумулирует более 90% суммарной нормализованной доли раздела (3,00 из 3,33).

– «От редактора» (9 организаций). Наибольший показатель нормализованного участия зафиксирован у ВНИИ вет.санитарии, гигиены и экологии (1,35), НовГУ (1,35) и Уральского ГАУ (1,33). Коэффициент концентрации варьирует от 1,10 до 1,45, что свидетельствует о достаточно однородной структуре авторских коллективов в данной рубрике.

Таким образом, распределение нормализованных долей организаций подтверждает высокую концентрацию публикационной активности в ведущих научных центрах. Коэффициент концентрации позволяет дополнительно характеризовать структуру авторских коллективов: организации с преобладанием малочисленных коллективов демонстрируют более высокие значения нормализованного показателя при сопоставимом количестве работ.

Представленные данные отражают сложившуюся структуру научного сотрудничества и дают возможность объективно оценить вклад каждой организации в совокупность публикаций журнала «Аграрная наука» за первое полугодие 2026 г.

Интересно и географическое распределение авторов⁴ по зарубежным странам (табл. 2) и субъектам Российской Федерации (табл. 3) в журнале «Аграрная наука» за первое полугодие 2026 г.

В первом полугодии 2026 г. в журнале «Аграрная наука» опубликованы работы авторов из 31 субъекта Российской Федерации, представляющих все федеральные округа — от Центрального

Табл. 2. Распределение авторов — представителей зарубежных организаций, опубликовавших результаты исследований на страницах журнала «Аграрная наука» в первом полугодии 2026 г. (множественные аффилиации учтены)

Table 2. Distribution of authors affiliated with foreign organizations who published research results in the journal Agrarian Science during the first half of 2026 (multiple affiliations accounted for)

Страна	Количество авторов
 Кыргызстан	4
 Турция	3
 Индонезия	2
 Египет	1
 Индия	1
 Казахстан	1
 Камерун	1
 Польша	1
 Таджикистан	1

Табл. 3. Распределение авторов по субъектам Российской Федерации (с учетом множественных аффилиаций) по публикациям в журнале «Аграрная наука» за первое полугодие 2026 г.

Table 3. Author distribution by Russian regions (multiple affiliations included) in Agrarian Science (first half of 2026)

Субъект Российской Федерации	Количество авторов
 Москва	102
 Челябинская обл.	33
 Свердловская обл.	30
 Московская обл.	26
 Санкт-Петербург	24
 Оренбургская обл.	22
 Ставропольский край	22
 Республика Татарстан	19
 Новгородская обл.	15
 Самарская обл.	15
 Республика Башкортостан	14
 Саратовская обл.	10
 Ростовская обл.	9
 Тверская обл.	7
 Орловская обл.	5
 Амурская обл.	4
 Вологодская обл.	4
 Республика Дагестан	4
 Курская область	4
 Кемеровская обл. — Кузбасс	3
 Республика Хакасия	3
 Рязанская обл.	3
 Красноярский край	2
 Республика Тыва	2
 Республика Коми	2
 Алтайский край	1
 Архангельская область	1
 Волгоградская обл.	1
 Калужская область	1
 Мурманская обл.	1
 Омская обл.	1

до Дальневосточного, что подтверждает статус издания как авторитетной научной площадки. Лидирующие позиции по числу авторов занимают г. Москва (102), Челябинская область (33) и Свердловская область (30). В числе наиболее активных регионов — Московская область (26), Санкт-Петербург (24), Оренбургская область (22) и Ставропольский край (22). Всего в 24 субъектах Российской Федерации зафиксировано более 5 авторов, что свидетельствует о широкой научной представленности. Особого внимания заслуживает участие исследователей из малонаселённых регионов — Амурской области (4), Республики Хакасия (3), Республики Коми (2), Республики Тыва (2) и Мурманской области (1), что демонстрирует интерес к журналу со стороны научного сообщества на всей территории России.

Одним из ключевых аспектов библиометрического анализа периодических изданий выступает исследование профессионально-квалификационной структуры авторов [11–15]. Анализ распределения исследователей по ученым степеням и званиям дает возможность не только оценить кадровую специфику контента, но и косвенно судить об экспертном уровне публикуемых материалов, что особенно важно для журналов, претендующих на высокий научный статус.

Результаты анализа (рис. 8) свидетельствуют о доминировании исследователей с учеными степенями — суммарная доля докторов и кандидатов наук достигает 78%. Важно, что публикационная деятельность осуществляется под руководством специалистов высшей квалификации: в числе авторов представлены академики и доктора наук, что обеспечивает методологическую состоятельность и экспертный уровень представляемых материалов. Наряду с этим в работе участвуют аспиранты и студенты — такое сочетание не только гарантирует высокий научный уровень журнала, но и способствует воспроизводству кадрового потенциала аграрной науки.

«Зоотехния и ветеринария». Данный раздел, аккумулировавший наибольшее число авторов, отличается сбалансированным представительством всех категорий: 5 академиков (действительных членов Российской академии наук), 67 докторов наук, 79 кандидатов наук, 15 специалистов, 8 аспирантов и 13 студентов. Это подтверждает наличие сложившейся научной школы с активным вовлечением молодежи в исследовательский процесс.

«Агрономия». Высокий квалификационный уровень сохраняется: 2 академика, 19 докторов и 46 кандидатов наук составляют ядро авторских коллективов. Дополнительно в исследованиях участвуют 21 специалист и 5 аспирантов, что характеризует кадровое обеспечение агрономического направления.

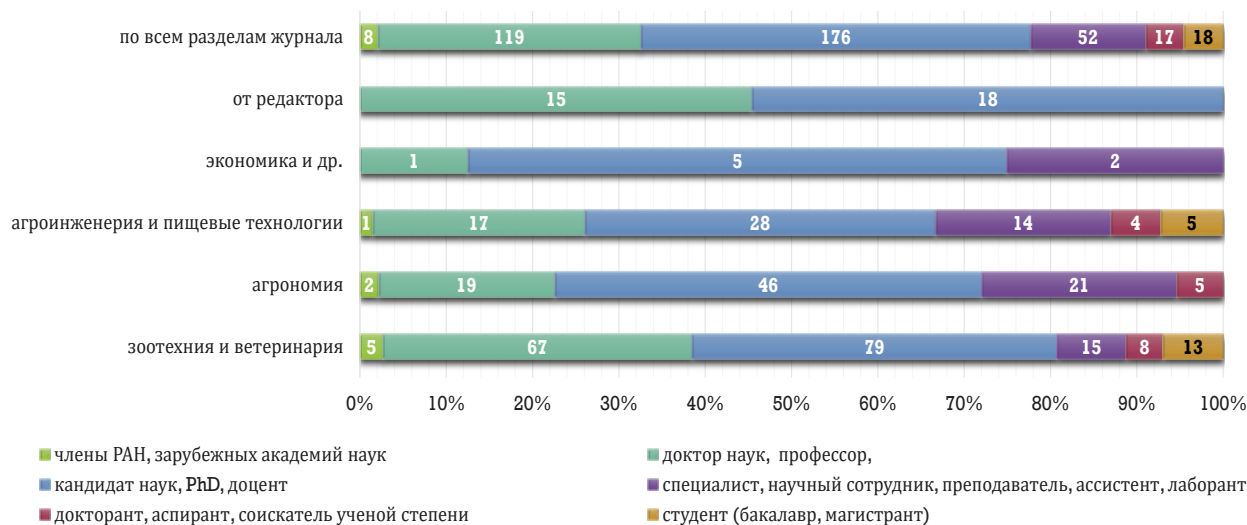
«Агроинженерия и пищевые технологии». В разделе представлены 1 академик, 17 докторов и 28 кандидатов наук, а также 4 аспиранта и 5 студентов, что отражает интеграцию образовательного процесса и научной деятельности в инженерной сфере.

«Региональная и отраслевая экономика». Основную публикационную нагрузку несут кандидаты наук (5) и доктора наук (1) при участии 2 специалистов.

Рубрика «От редактора». Аналитические материалы данной рубрики подготовлены при участии 15 докторов наук и 18 кандидатов наук (или PhD). Отсутствие в рубрике аспирантов и студентов закономерно, учитывая формат редакционных аналитических обзоров, которые традиционно готовятся высококвалифицированными специалистами и членами редакционной коллегии.

Рис. 8. Авторский профиль по ученым степеням и научным званиям по разделам журнала «Аграрная наука» в первом полугодии 2026 г.

Fig. 8. Author profile by academic degrees and scientific titles across the sections of the journal Agrarian Science in the first half of 2026



Таким образом, во всех тематических разделах журнала «Аграрная наука» сохраняется высокий квалификационный уровень авторов: суммарная доля исследователей с учёными степенями достигает 78% от общего числа авторов. Присутствие аспирантов и студентов в основных разделах (за исключением рубрики «От редактора») свидетельствует о преемственности научных школ и эффективной интеграции образовательного и исследовательского процессов в аграрной отрасли. Рубрика «От редактора», формируемая преимущественно докторами и кандидатами наук, выполняет экспертную аналитическую функцию, что соответствует ее статусу в структуре журнала.

Финансовое обеспечение научных исследований выступает значимым фактором, мотивирующим авторов к публикации результатов в авторитетных научных изданиях [16–18]. Анализ распределения публикаций в журнале «Аграрная наука» по источникам финансирования (рис. 9) показал, что наибольшее число статей (40) подготовлено за счёт инициативных средств соавторов⁵. Публикации в рамках государственного задания (ГЗ) или при поддержке средств учреждений составили 38 работ, грантовое финансирование обеспечило выход 23 научных материалов.

Распределение по тематическим разделам выявляет дифференциацию источников в зависимости от направления исследований.

Рассмотрим по разделам журнала:

– «Зоотехния и ветеринария». Преобладают инициативные разработки (18 статей); 14 работ выполнены при грантовой поддержке, 11 — в рамках госзадания.

– «Агрономия». Доминируют публикации по

государственному заданию (15) — это единственный раздел журнала, где доминирует ГЗ; инициативные средства — 6, грантовое финансирование — 5.

– «Агроинженерия и пищевые технологии». Распределение: грант — 4, ГЗ — 9, инициативные средства соавторов — 8.

– «Региональная и отраслевая экономика». Три статьи профинансированы из средств ГЗ, одна — инициативно.

– «От редактора». Публикации подготовлены исключительно за счёт инициативных средств соавторов, что соответствует редакционному формату.

Грантовое финансирование играет стратегическую роль, предоставляя исследователям свободу выбора приоритетов и возможность работы над инновационными результатами без коммерческих ограничений. Сочетание различных источников создает основу для устойчивого развития аграрной науки, интеграции исследований в инновационную экономику и повышения глобальной конкурентоспособности отечественных разработок.

Список цитируемой литературы — необходимый компонент научной работы, обеспечивающий источниковедческую достоверность и верифицируемость представленных результатов [19–21].

За первое полугодие 2026 г. средний объем библиографии в журнале «Аграрная наука» достиг 31,1 ссылки на статью (рис. 10).

Представленные данные создают основу для дальнейшего отслеживания изменений наукометрических показателей издания на протяжении юбилейного года [22].

⁵ К категории «инициативные средства соавторов» отнесены публикации, в которых авторы самостоятельно указали на отсутствие внешнего финансирования (грантов, государственных заданий, средств учреждений) либо в метаданных статьи такая информация не была представлена. Данная категория отражает случаи, когда исследовательская работа выполнена без привлечения финансовой поддержки со сторонних организаций и фондов, исключительно за счёт личных или внутригрупповых ресурсов авторов.

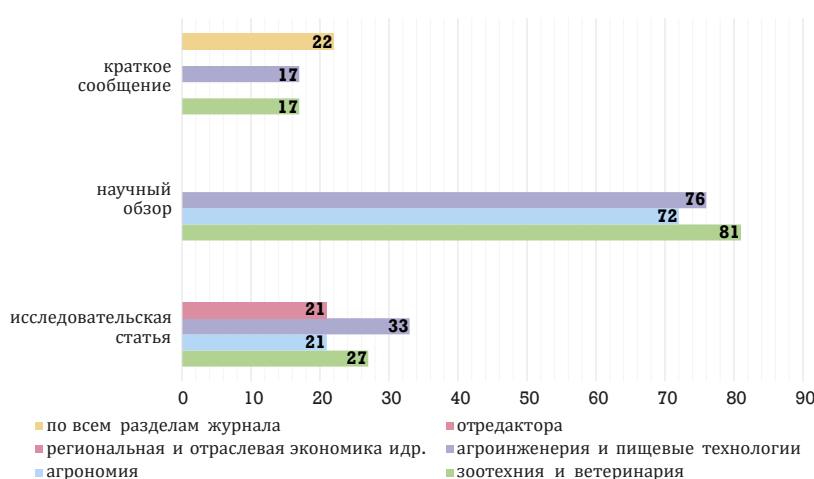
Рис. 9. Распределение научных публикаций по источникам финансирования (количество и процентное соотношение) по тематическим разделам журнала «Аграрная наука» (первое полугодие 2026 г.)

Fig. 9. Distribution of scientific publications by funding source (number and percentage) across the thematic sections of the journal Agrarian Science (first half of 2026)



Рис. 10. Среднее количество использованных библиографических ссылок (цитирований) в научных публикациях по разделам журнала «Аграрная наука» в первом полугодии 2026 г.

Fig. 10. Average number of bibliographic references (citations) per scientific publication across the sections of the journal Agrarian Science in the first half of 2026



Выводы/Conclusion

Результаты наукометрического анализа публикационной активности журнала «Аграрная наука» за первое полугодие 2026 г. свидетельствуют о сохранении стабильного объема выпускаемых научных материалов (101 работа, 72% которых составляют исследовательские статьи), с устойчивым преобладанием тематики «Зоотехния и ветеринария». Высокая доля авторов, имеющих ученые степени (78%), и представительство исследователей из 31 региона РФ и 9 зарубежных стран подтверждают положение журнала как ведущего издания в области аграрной науки.

В то же время анализ выявил зоны для дальнейшего роста: значительная часть публикаций сосредоточена в ограниченном числе организаций и регионов; доля участия аспирантов и студентов составляет лишь 9%; раздел экономики представлен минимальным числом авторов. Перспективными направлениями развития представляются расширение сотрудничества с исследователями из Сибири и Дальнего Востока, а также увеличение числа публикаций на английском языке для усиления международного присутствия журнала.

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

- 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>
- 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>
- Бескаравайная 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>
- Цветкова В.А., Мохначева Ю.В. Научная среда и публикационная активность: риски библиометрических оценок. *Культура: теория и практика*. 2020; (2): 11. EDN DOOOF
- 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>
- 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>
- 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>

REFERENCES

- 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>
- 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>
- 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>
- 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 DOOOF
- Ermakov A.V. Analytical statistics on scientific publications of Kazan Federal University on Scilit. *Electronic libraries*. 2024; 27(6): 878–896. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2024-27-6-878-896>
- 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>
- 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>

8. Waltman L., van Eck N.J. Field-normalized citation impact indicators and the choice of an appropriate counting method. *Journal of Informetrics*. 2015; 9(4): 872–894. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2015.08.001>
9. Perianes-Rodriguez A., Waltman L., van Eck N.J. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*. 2016; 10(4): 1178–1195. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>
10. 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>
11. Виолин Б.В. и др. Наукометрический вектор развития (часть 2). *Аграрная наука*. 2026; (7): 8–14. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-408-07-8-14>
12. 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>
13. Маршак-Шайкевич И.В. Библиометрический анализ научных журналов. *Социология науки и технологии*. 2014; 5(3): 38–48. EDN SOASKT
14. 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>
15. 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>
16. 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>
17. 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>
18. Сафиуллин М.Р., Гатауллина А.А., Зяббаров 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
19. Nicolaisen J., Frandsen T.F. Acting hot or not? Testing the citing to show-off hypothesis. *Journal of Documentation*. 2021; 77(2): 461–478. <https://doi.org/10.1108/JD-06-2020-0097>
20. 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>
21. Gasparyan A.Y., Yessirkepov M., Voronov A.A., Gerasimov A.N., Kostyukova E.I., Kitaz G.D. Preserving the Integrity of Citations and References by All Stakeholders of Science Communication. *Journal of Korean Medical Science*. 2015; 30(11): 1545–1552. <https://doi.org/10.3346/jkms.2015.30.11.1545>
22. Виолин Б.В. и др. Юбилейный год в зеркале наукометрии: анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г. *Аграрная наука*. 2026; (5): 8–17. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-8-17>

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>

Ольга Васильевна Горелик³

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
olgao205en@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Оксана Владимировна Зинина^{3,4}

- доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³;
- доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий⁴

zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

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>

Евгений Анатольевич Колесник⁷

доктор биологических наук, профессор
evgeniy251082@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2326-651X>

8. Waltman L., van Eck N.J. Field-normalized citation impact indicators and the choice of an appropriate counting method. *Journal of Informetrics*. 2015; 9(4): 872–894. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2015.08.001>

9. Perianes-Rodriguez A., Waltman L., van Eck N.J. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*. 2016; 10(4): 1178–1195. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>

10. 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>

11. Violin B.V. et al. Scientometric Development Vector (Part 2). *Agrarian science*. 2026; (7): 8–14 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-408-07-8-14>

12. 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>

13. Marshakova-Shaikovich I.V. Bibliometric analyses of scientific journals. *Sociology of Science and Technology*. 2014; 5(3): 38–48 (in Russian). EDN SOASKT

14. Obratsov I.V., Polovnev 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>

15. 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>

16. 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>

17. 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>

18. Safiullin M.R., Gataullina A.A., Zhabbarova 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

19. Nicolaisen J., Frandsen T.F. Acting hot or not? Testing the citing to show-off hypothesis. *Journal of Documentation*. 2021; 77(2): 461–478. <https://doi.org/10.1108/JD-06-2020-0097>

20. 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>

21. Gasparyan A.Y., Yessirkepov M., Voronov A.A., Gerasimov A.N., Kostyukova E.I., Kitaz G.D. Preserving the Integrity of Citations and References by All Stakeholders of Science Communication. *Journal of Korean Medical Science*. 2015; 30(11): 1545–1552. <https://doi.org/10.3346/jkms.2015.30.11.1545>

22. Violin B.V. et al. 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; (5): 8–17 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-8-17>

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>

Olga Vasilyevna Gorelik³

Doctor of Agricultural Sciences, Professor
olgao205en@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Oksana Vladimirovna Zinina^{3,4}

- Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³;
- Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Biotechnology⁴

zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

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>

Evgeniy Anatolyevich Kolesnik⁷

Doctor of Biological Sciences, Professor
evgeniy251082@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2326-651X>

Инеcса Вячеславовна Пенькова⁸

доктор экономических наук, профессор,
penkova_iv@spbstu.ru

Ярослав Максимович Ребезов⁹

кандидат биологических наук, научный сотрудник; сектор
прикладной биотехнологии
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

Елена Владимировна Калмыкова¹⁰

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный
научный сотрудник, заведующий лабораторией
биоэкологии древесных наук
kalmykova.elena-1111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>

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

⁴Южно-Уральский государственный университет,
пр-т им. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

⁵Университет Эйрлангга,
PQJM+528, Мульорежо, Сурабая, Ява Тимур, 60115,
Индонезия

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

⁷Государственный университет просвещения,
ул. Радио, д. 10А, стр.2, Москва, 105005, Россия

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

⁹Новгородский государственный университет имени
Ярослава Мудрого,
ул. Большая Санкт-Петербургская, 41, Великий Новгород,
173003, Россия

¹⁰ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и
защитного лесоразведения Российской академии наук,
пр. Университетский, д. 97, г. Волгоград, 400062,
Россия

Inessa Vyacheslavovna Penkova⁸

Doctor of Economics, Professor
penkova_iv@spbstu.ru

Yaroslav Maksimovich Rebezov⁹

Candidate of biological sciences, Research Fellow, Applied
Biotechnology Sector
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

Elena Vladimirovna Kalmykova¹⁰

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief
Researcher, Head of the Laboratory of Wood Sciences
Bioecology
kalmykova.elena-1111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>

¹All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation,
Hygiene and Ecology — a branch 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

⁴South Ural State University,
76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

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

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

⁷State University of Education,
10A/2 Radio st., Moscow, 105005, Russia

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

⁹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,
41 Bolshaya Sankt-Peterburgskaya st., Veliky Novgorod,
173003, Russia

¹⁰Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land
Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian
Academy of Sciences,
97 Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russian

УДК 619:616.366-072.5:636.7/8

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-22-28

А.П. Фалуш ✉

А.В. Чечнева

Д.А. Вильмис

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

✉ artemfalush@yandex.ru

Поступила в редакцию: 22.06.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Фалуш А.П., Чечнева А.В., Вильмис Д.А.

Показания к проведению холецистоцентеза у кошек и собак и его значимость в диагностике заболеваний билиарной системы

РЕЗЮМЕ

В статье представлены данные о применении процедуры холецистоцентеза под ультразвуковым контролем у кошек и собак с целью оценки цитологического состава желчи и выявления бактериального агента как фактора риска развития заболевания желчевыводящей системы. Холецистоцентез представляет собой диагностическую малоинвазивную процедуру, предусматривающую отбор желчи непосредственно из желчного пузыря для последующего исследования. Исследование проведено на 62 собаках и 46 кошках с клиническими и ультразвуковыми признаками патологий билиарной системы, при этом контролем в оценке структур билиарной системы служили 10 кошек и 10 собак с отсутствием клинических и сонографических признаков системных заболеваний. В результате комплексной диагностики животных с признаками заболевания билиарной системы установлено, что у кошек в 65,2% случаев этиологическим фактором поражения билиарной системы являлась бактериальная инфекция, тогда как у собак в 80,6% случаев бактериальный рост отсутствовал, что свидетельствует о преобладании асептических и метаболических форм патологии. Целью данной работы является определение показаний к проведению холецистоцентеза, а также роль цитологического и бактериологического методов исследования желчи при заболеваниях билиарной системы у кошек и собак.

Ключевые слова: холецистоцентез, кошки, собаки, УЗИ, холецистит, холелитиаз, билиарная система

Для цитирования: Фалуш А.П., Чечнева А.В., Вильмис Д.А. Показания к проведению холецистоцентеза у кошек и собак и его значимость в диагностике заболеваний билиарной системы. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 22–28. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-22-28>

Scientific article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-22-28

Artem P. Falush ✉

Anastasia V. Chechneva

Daria A. Vilms

Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

✉ artemfalush@yandex.ru

Received by the editorial office: 22.06.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Falush A.P., Chechneva A.V., Vilms D.A.

Indications for cholecystocentesis in cats and dogs and its diagnostic significance in diseases of the biliary system

ABSTRACT

The article presents data on the use of ultrasound guided cholecystocentesis in cats and dogs to assess the cytological composition of bile and identify bacterial agents as the etiological factors of biliary tract disease. Cholecystocentesis is a minimally invasive diagnostic procedure that involves collecting bile directly from the gallbladder for further analysis. The study included 62 dogs and 46 cats with clinical and ultrasonographic signs of biliary system pathology. The control group for assessing biliary structures consisted of 10 cats and 10 dogs without clinical or ultrasound signs of systemic diseases. Comprehensive diagnostics revealed that in cats, bacterial infection was the etiological factor in 65.2% of cases, whereas in dogs, no bacterial growth was detected in 80.6% of cases. This indicates a predominance of aseptic and metabolic forms of pathology in dogs. The aim of this study was to determine the indications for cholecystocentesis and to evaluate the role of cytological and bacteriological analyses of bile in diagnosing biliary tract diseases in cats and dogs.

Key words: Cholecystocentesis, Cats, Dogs, Ultrasonography, Cholecystitis, Cholelithiasis, Biliary system

For citation: Falush A.P., Chechneva A.V., Vilms D.A. Indications for cholecystocentesis in cats and dogs and its diagnostic significance in diseases of the biliary system. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 22–28 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-22-28>

Введение/Introduction

Патологии билиарной системы у собак и кошек представляют собой обширную группу заболеваний, включающих воспалительные, обструктивные, дегенеративные, врожденные и неопластические процессы [1–4].

Диагностика патологий билиарной системы у собак и кошек основывается на комплексном подходе, включающем клиническое обследование животного, лабораторные методы и современные средства визуализации [5]. Гематологические исследования позволяют выявить признаки воспаления, тогда как биохимические показатели — повышение активности АЛТ, ЩФ, ГГТ, уровня билирубина и сывороточных желчных кислот — могут отражать наличие обструктивных и функциональных патологий билиарной системы [6–7]. Визуальная диагностика, в первую очередь ультразвуковое исследование, является методом выбора и позволяет оценить структурные изменения желчного пузыря и желчных протоков: наличие дилатации, утолщения стенок, мукоцеле, конкрементов, регионарной лимфаденопатии, стеатита и свободной жидкости [8–11]. В сомнительных случаях (подозрение на новообразование, неясная причина обструкции желчевыводящих путей, подозрение на перфорацию стенки желчного пузыря) применяется компьютерная томография. Цитологическое и бактериологическое исследование желчи позволяет провести морфологическую верификацию различных патологических процессов билиарной системы [1, 8, 12–15]. Таким образом, комплексное обследование животного позволяет получить сведения об этиологии патологического процесса, его локализации и вовлечении окружающих структур, что является ключевым для определения прогноза и выбора оптимальной тактики лечения [6, 16].

Холецистоцентез представляет собой малоинвазивную диагностическую процедуру, в ходе которой осуществляется пункция желчного пузыря под контролем чрескожной ультрасонографии [17, 18]. Однако при воспалительных патологиях желчного пузыря возрастает риск возникновения осложнений, включая разрыв стенки желчного пузыря, также процедура противопоказана при эмфизематозном холецистите, характеризующимся наличием газа в полости желчного пузыря, свидетельствующего об анаэробной инфекции билиарной системы [19, 20].

Целью настоящего исследования является оценка диагностической значимости холецистоцентеза при заболеваниях билиарной системы у кошек и собак на основании определения показаний к его проведению и анализа межвидовых различий в применении данного метода.

Материал и методы исследования / Material and methods

Работа выполнена на базе ветеринарной клиники «Филин» в г. Москва в период с 2024 по 2025 гг.

Объектом исследования послужили кошки и собаки разных породных, половых и возрастных групп, имеющие сходные условия кормления и содержания. В исследуемую группу были включены животные (62 собаки и 46 кошек) с признаками расстройства пищеварения, сопровождавшегося симптомами рвоты, гипорекции/анорексии, у которых были выявлены признаки патологии гепатобилиарной системы при ультразвуковом исследовании. Критериями исключения животных из исследуемой группы являлось отсутствие сонографических признаков заболеваний гепатобилиарной системы.

Контрольную группу для корреляции результатов ультразвукового исследования гепатобилиарной системы составили условно здоровые животные в количестве 10 кошек и 10 собак. Отбор проводили по следующим критериям: отсутствие клинических признаков системных заболеваний, патологий гепатобилиарной системы в анамнезе и ультразвуковых признаков ее изменений. При этом следует учитывать, что контрольная группа была сформирована исключительно на основании анамнестических данных, клинического осмотра и сонографического исследования, без лабораторной, цитологической или гистологической верификации состояния гепатобилиарной системы.

Для проведения диагностических исследований применяли комплексный подход, включавший: физикальный осмотр, ультразвуковое исследование, отбор проб желчи методом холецистоцентеза для цитологического и бактериологического исследований, с последующей динамической оценкой желчного пузыря и окружающих структур с целью выявления осложнений после процедуры.

Физикальный осмотр больных животных осуществлялся с требованиями, изложенными в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях¹ 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»)².

Ультразвуковое исследование желчного пузыря и желчевыводящих путей проводили с использованием аппарата Mindray VetuS 7 (Китай) с применением линейного датчика с частотой 10,0 МГц и микроконвексного датчика с частотой 5,0 МГц.

¹ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях (URL: https://ruslasa.ru/wpcontent/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf)

² 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»

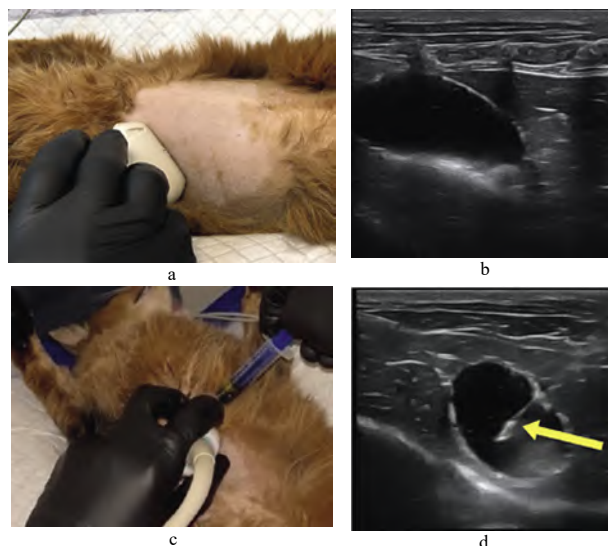
Для определения ультразвуковых критериев патологических изменений структур гепатобилиарной системы у больных животных было проведено сонографическое исследование гепатобилиарной системы у кошек и собак без признаков патологий желчевыводящей системы. При ультразвуковом исследовании оценивали толщину стенки, содержимое желчного пузыря, а также состояние окружающих структур: жировая ткань, регионарные лимфатические узлы (печеночные, желудочный, панкреодуоденальные).

У животных с ультразвуковыми признаками патологии билиарной системы холецистоцентез выполняли под ультразвуковым контролем с предварительной глубокой седацией животных с целью минимизации риска осложнений. Перед проведением процедуры всем пациентам (62 собаки и 46 кошек) была выдержана предварительная голодная диета продолжительностью 8–10 часов. В качестве средств для индукции использовали пропופол в дозе 5–7 мг/кг с последующим поддержанием анестезии при необходимости в дозе 1 мг/кг. Дополнительно применяли комбинацию золазепам и тилетамина в дозировке 0,01 мг/кг и 0,5 мг/кг соответственно. Учитывая болезненность процедуры, также проводили местную инфильтрационную анальгезию в области прокола иглы препаратом лидокаина гидрохлорида в концентрации 10мг/мл, который вводили в месте пункции в дозе 0,1–0,2 мл. Подготовка операционного поля проводилась по общепринятой методике: область правого межреберного промежутка выбривали с помощью бритвы, кожу обрабатывали 5% йодным спиртовым раствором. Линейный датчик с частотой 10,0 МГц устанавливали в области правого межреберного промежутка, после чего визуализировали желчный пузырь в поперечном сечении. Пункцию осуществляли иглой 22G, вводимой на расстоянии 0,5 см от полюса датчика под углом 45 градусов. Иглу вводили через паренхиму печени до момента прокалывания стенки желчного пузыря, после чего осуществляли полную аспирацию его содержимого. В ходе процедуры и в раннем послеоперационном периоде осуществлялся контроль витальных показателей животных (частота дыхательных движений, пульс, артериальное давление). Мониторинг желчного пузыря и окружающих структур после проведения холецистоцентеза проводили через час и через сутки после проведения процедуры с целью выявления возможных осложнений. Техника выполнения процедуры представлена на рис. 1.

Полученную желчь наносили на предметные стекла (в количестве 5 параллельных исследований при каждом отборе) для последующей микроскопии, а также распределяли по 0,1 мл в пробирки со средой Эймса Soran Italia SpA (Италия), поскольку она обеспечивает сохранение жизнеспособности микроорганизмов в период между взятием материала и его доставкой в лабораторию, среда предотвращает высыхание образца,

Рис. 1. Проведение холецистоцентеза у кошки: а — определение расположения желчного пузыря через межреберный доступ с применением линейного датчика с частотой 10 МГц; б — сонографическое изображение желчного пузыря до проведения холецистоцентеза; с — выполнение пункции желчного пузыря под сонографическим контролем; д — изображение желчного пузыря при проведении холецистоцентеза (стрелкой указано положение иглы в полости желчного пузыря).

Fig. 1. Cholecystocentesis in a cat: a — Determining the location of the gallbladder through an intercostal approach using a 10 mHz linear transducer; b — Sonographic image of the gallbladder before cholecystocentesis; c — Gallbladder puncture under sonographic guidance; d — Image of the gallbladder during cholecystocentesis (the arrow indicates the position of the needle in the gallbladder cavity).



снижает гибель бактерий и препятствует избыточному размножению отдельных микроорганизмов, что позволяет сохранить исходный бактериологический состав материала и повысить достоверность результатов исследования.

Микроскопию мазков желчи проводили после окрашивания препаратов методом Романовского, микроскоп Optika B-181 (Италия), объектив x10, x40, x100, окуляр x10. Бактериологические исследования проводились на базе независимой лаборатории VetUnion (г. Москва, Россия).

Анализ и математическую обработку полученных результатов проводили методами описательной статистики с помощью программы Excel MS Office (США), в которой формировали базы данных. Для качественных признаков рассчитывали абсолютные значения (n) и относительные показатели (%). Результаты представлены в виде числа наблюдений и доли случаев от общего числа животных соответствующей группы.

Ограничения исследования. Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, оно выполнено на относительно ограниченной выборке животных, наблюдавшихся в одной ветеринарной клинике, что может снижать возможность экстраполяции результатов на более широкую популяцию. Во-вторых, контрольная группа формировалась на основании клинического обследования и ультразвукового исследования без морфологической верификации отсутствия

патологии билиарной системы. Кроме того, исследование носило наблюдательный характер и не предусматривало долгосрочного динамического наблюдения за всеми пациентами после проведения холецистоцентеза. В связи с этим полученные результаты требуют дальнейшего подтверждения на более крупных выборках с применением стандартизированных протоколов обследования.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При проведении ультразвукового исследования оценивали толщину стенки, наличие и характер содержимого желчного пузыря и пузырного протока, а также наличие признаков свободной жидкости в области желчного пузыря/долей печени и изменения окружающей жировой ткани и регионарных лимфатических узлов.

Результаты сонографического исследования желчного пузыря у кошек и собак без признаков патологии представлены в таблице 1.

На основании проведенного анализа данных сонографического исследования у клинически здоровых кошек установлено, что в 100% случаев (10/10) толщина стенки желчного пузыря не превышала 0,1 см, содержимое было анэхогенным, а диаметр пузырного протока не превышал 0,3 см. В свою очередь, у собак сонографическими критериями неизмененного желчного пузыря толщина стенки до 0,16 см, и диаметр пузырного протока не более 0,3 см (10/10). Однако в 30% случаях (3/10) отмечали мелкую флотирующую взвесь в просвете желчного пузыря, а в 20% случаях (2/10) эхогенный сдвиг не более 20% от общего объема желчного пузыря, данные включения, без признаков утолщения стенки, следует рассматривать как вариант нормы для этого вида животных³.

У больных животных при проведении ультразвукового исследования гепатобилиарной системы регистрировали различные патологии, сопровождавшиеся утолщением стенки и наличием включений в просвете желчного пузыря, а также расширение желчных протоков, указывающих на obstruction желчевыводящей системы (рис. 2).

Результаты ультрасонографического исследования желчного пузыря у кошек и собак представлены в таблице 2.

В ходе проведения ультразвуковой диагностики у всех 62 собак (100% случаев) был выявлен билиарный осадок/эхогенная взвесь в полости желчного пузыря. Утолщение стенки желчного пузыря наблюдалось у 30 собак (48,4% случаев, 30/62), что может указывать на наличие воспалительного процесса в органе. Холекулитаз регистрировали реже — у 15 собак (24,2% случаев, 15/62), что отражает относительно высокую распространенность конкрементов в полости желчного пузыря в данной выборке животных. Повышение эхогенности окружающих тканей и локальная

Таблица 1. Сонографическая картина желчного пузыря кошек и собак в норме (без патологических изменений), n = 10.

Table 1. Sonographic findings of the normal gallbladder in cats and dogs (without pathological changes), n = 10.

	Вид животного	Абс. знач., гол	Отн. знач., %
Толщина стенки желчного пузыря до 0,16 см	Собака	10	100,00
Толщина стенки желчного пузыря до 0,1 см	Кошка	10	100,00
Диаметр пузырного протока до 0,3 см	Собака/Кошка	20	100,00
Анэхогенное содержимое желчного пузыря	Собака	5	50,00
Анэхогенное содержимое желчного пузыря	Кошка	10	100,00
Мелкая флотирующая эхогенная взвесь	Собака	3	30,00
Эхогенный сдвиг не более 20% от общего объема желчного пузыря	Собака	2	20,00

Рис. 2. Сонографическое исследование желчного пузыря кошек (a, b) и собак (c, d): a — утолщение стенки желчного пузыря - холецистит (указано стрелкой); b — эхогенный сдвиг в полости желчного пузыря (указан стрелкой); c — дилатация желчных протоков (указано стрелкой) с повышением эхогенности окружающей ткани; d - гиперэхогенное образование в полости желчного пузыря, дающее четкую акустическую тень (холекулит) (указано стрелкой).

Fig. 2. Sonographic assessment of the gallbladder of cats (a, b) and dogs (c, d): a — thickening of the gallbladder wall - cholecystitis (indicated by the arrow); b — echogenic sludge in the gallbladder cavity (indicated by the arrow); c — dilation of the bile ducts (indicated by the arrow) with increased echogenicity of the surrounding tissue; d — a hyperechoic formation in the gallbladder cavity that with acoustic shadow (cholelith) (indicated by the arrow).

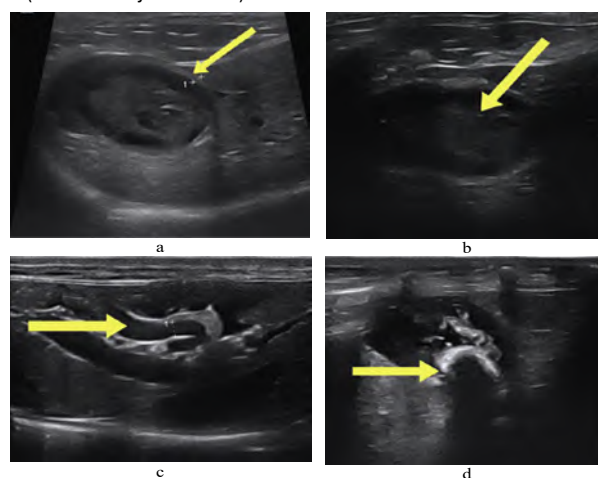


Таблица 2. Ультразвуковые признаки патологии желчного пузыря у собак и кошек, n = 108.

Table 2. Ultrasonic features of gallbladder abnormalities in canine and feline species, n = 108.

Ультразвуковые изменения	Собаки, n = 62		Кошки, n = 46	
	Абс. знач., гол	Отн. знач., %	Абс. знач., гол	Отн. знач., %
Билиарный осадок/эхогенная взвесь	62	100,0	46	100,0
Утолщение стенки	30	48,4	33	71,7
Гиперэхогенные образования в полости желчного пузыря	15	24,2	13	28,3
Повышение эхогенности жировой ткани в области печени	12	19,3	10	21,7
Анэхогенная жидкость в области желчного пузыря/между долей печени	6	9,7	13	28,3
Дилатация желчных протоков	14	22,6	4	8,7
Лимфаденит	12	19,3	—	—

³ Penninck D., d'Anjou M. -A. Atlas of Small Animal Ultrasonography. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2025. 704 p.

лимфаденопатия отмечались лишь у 12 пациентов (19,3% случаев, 12/62), что может свидетельствовать о воспалительном процессе или реактивной лимфоидной гиперплазии. Дилатация желчных протоков встречалась у 14 собак (22,6% случаев, 14/62), что может указывать на обструкцию желчевыводящих путей, либо на холангит. Свободная жидкость в брюшной полости была выявлена у 6 животных (9,7% случаев, 6/62) и имела незначительный объем.

Наиболее частой ультразвуковой находкой у кошек являлось наличие билиарного осадка/эхогенной взвеси в желчном пузыре, которые наблюдались во всех случаях (100% случаев, 46/46) в сочетании с другими изменениями: Утолщение стенки желчного пузыря отмечалось у 33 кошек (71,7% случаев, 33/46), что может свидетельствовать о воспалительном процессе органа. Холелитиаз (гиперэхогенные образования в полости желчного пузыря) был зарегистрирован у 13 кошек в группе исследования (28,3% случаев, 13/46), с такой же частотой наблюдали следы свободной анэхогенной жидкости в области желчного пузыря (28,3% случаев, 13/46). У 10 кошек (21,7% случаев, 10/46) было выявлено повышение эхогенности окружающей жировой ткани в области желчного пузыря. Также редко регистрировали дилатацию желчных протоков, лишь у 4 пациентов (8,7% случаев, 4/46).

После сонографической верификации патологического процесса в билиарной системе проводили отбор проб желчи с последующей курацией животных. В результате наблюдения за животными после выполнения процедуры холецистоцентеза в 9,7% случаев в группе собак (6/62), и в 15,2% случаев в группе кошек (7/46) выявляли незначительное количество свободной жидкости в области желчного пузыря, при этом отклонений в витальных показателях (температура, пульс, частота дыхательных движений, артериальное давление) зарегистрировано не было (рисунок 3).

Скопление незначительного количества свободной жидкости в области желчного пузыря у кошек и собак после выполнения процедуры холецистоцентеза, более вероятно, отражало локальную воспалительную реакцию или является следствием травматизации сосуда печени при выполнении процедуры.

Всем животным с выявленными изменениями проводили динамическое ультразвуковое исследование ежедневно для выявления отсроченных осложнений и признаков локальной воспалительной реакции в течение 7 дней после проведения холецистоцентеза. Однако изменений в общем состоянии (аппетит, жажда, дефекация, мочеиспускание) и витальных показателях (температура, частота дыхательных движений, частота сердечных сокращений, показатель артериального давления) после проведения холецистоцентеза выявлено не было.

Рис.3. Частота осложнений после процедуры холецистоцентеза у кошек и собак.

Fig.3. The incidence of complications following cholecystocentesis in cats and dogs.

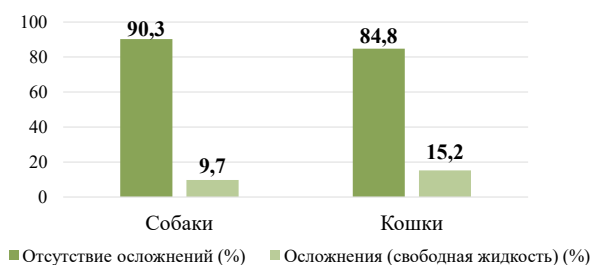


Таблица 3. Результаты цитологического исследования желчи собак и кошек, n = 108.

Table 3. Results of cytological examination of bile in dogs and cats, n = 108.

Результаты цитологического исследования	Собаки, n = 62		Кошки, n = 46	
	Абс. знач., гол	Отн. знач., %	Абс. знач., гол	Отн. знач., %
Нейтрофилы	12	19,3	30	65,2
Наличие микрофлоры (кокки, палочки, или их сочетание)	14	22,6	30	65,2
Соли кальция	11	17,7	0	0
Без выраженных отклонений	37	59,7	16	34,8

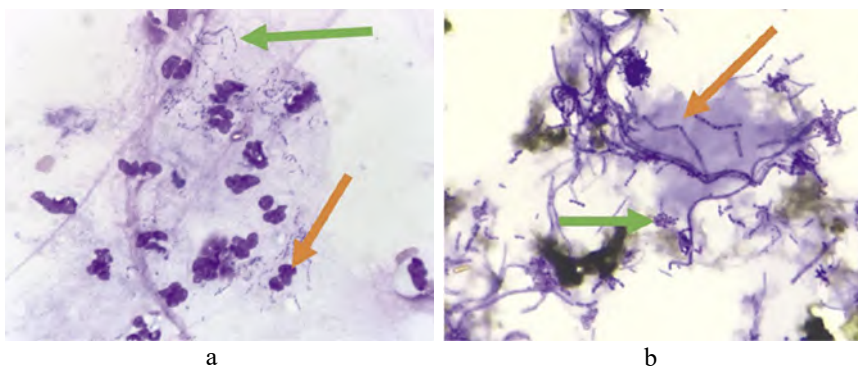
Микроскопическое исследование желчи проводили с целью оценки состава для выявления патологических включений и инфекционных агентов (таблица 3, рисунок 4).

По данным цитологического исследования, у 12 собак (19,3% случаев, 12/62) были выявлены изменения, характерные для активного воспалительного процесса бактериальной этиологии за счет сочетания наличия нейтрофилов и патогенной микрофлоры в образцах желчи. У двух собак (3,2% случаев, 2/62) при цитологическом исследовании в мазках визуализировали микрофлору, однако воспалительный компонент не был обнаружен. Учитывая наличие клинической картины и сонографических признаков воспаления желчного пузыря у данных животных, можно предположить, что отсутствие нейтрофилов в мазках желчи обусловлено погрешностью данного вида исследования [21], так как для приготовления мазка желчи требуется 1–2 капли материала, при этом возможна вероятность отсутствия всех клеточных элементов в полученном материале [22–23]. У 11 собак (17,7% случаев, 11/62) в образцах были выявлены соли кальция, при этом признаки воспалительного или септического компонента отсутствовали. В остальных случаях (59,7% случаев, 37/62) признаков атипичного состава желчи обнаружено не было.

При оценке результатов цитологического исследования в группе кошек, у 30 пациентов (65,2% случаев, 30/46) в образцах желчи были обнаружены нейтрофилы в сочетании с бактериальной флорой. В 16 из исследуемых цитологий у кошек

Рис. 4. Цитологическое исследование желчи собак (а) и кошек (б), окрашивание по Романовскому: а — нейтрофильное бактериальное воспаление желчного пузыря (оранжевой стрелкой указаны нейтрофилы, зеленой стрелкой указана кокковая микрофлора), объектив $\times 100$, окуляр $\times 10$; б — бактериальная микрофлора желчи (оранжевой стрелкой указана палочковая флора, зеленой стрелкой указана кокковая флора), объектив $\times 100$, окуляр $\times 10$.

Fig. 4. Cytological examination of bile in dogs (a) and cats (b), Romanowsky staining: a — neutrophilic bacterial inflammation of the gallbladder (the orange arrow indicates neutrophils, the green arrow indicates coccoid microflora), objective $\times 100$, ocular $\times 10$; b — bacterial microflora in bile (the orange arrow indicates bacillary flora, the green arrow indicates coccoid flora), objective $\times 100$, ocular $\times 10$.



(34,8% случаев, 16/46) не было выявлено отклонений от нормального состава желчи.

Таким образом, данные цитологического исследования желчи демонстрируют умеренную частоту выявления бактериального воспаления в желчном пузыре, что указывает на вариабельность состава желчи при заболеваниях билиарной системы у кошек и собак.

Бактериологический посев желчи проводили с целью определения патогенов и их чувствительности к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом (согласно методическим указаниям МУК 4.2.1890-04).⁴ Данное исследование необходимо для проведения этиотропного лечения в случае выявления патогенной микрофлоры. Результаты бактериологического исследования свидетельствуют о восходящей инфекции билиарной системы за счет наличия микроорганизмов, которые являются частью нормальной микрофлоры кишечника кошек и собак, т.к. в норме желчь является стерильным секретом (рис. 5).

Согласно результатам бактериологического исследования, в группе собак в 80,6% случаев (50/62) бактериального роста в исследуемом материале не обнаружено, что свидетельствует

Выводы/Conclusion

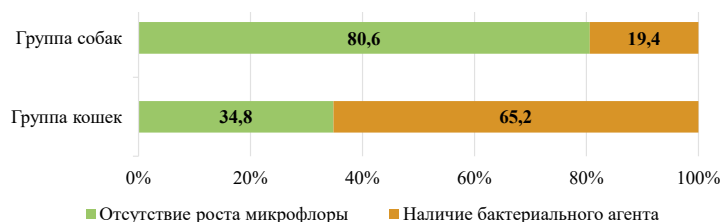
Ключевыми критериями для выполнения холецистоцентеза являются сонографические признаки патологии билиарной системы — наличие билиарного осадка/эхогенной взвеси, утолщение стенки желчного пузыря, холелитиаз. При этом значительных осложнений после выполнения процедуры не наблюдалось: незначительное количество свободной жидкости в области проведения пункции в 9,7% случаев в группе собак (6/62), и в 15,2% случаев в группе кошек (7/46), которое купировалось самостоятельно.

Применение цитологического и бактериологического исследования образцов желчи, полученных путем холецистоцентеза показали высокую диагностическую значимость при установлении этиологического фактора заболевания билиарной системы, необходимого для назначения этиотропной терапии. Однако стоит учитывать, что данные методы не исключают, а дополняют друг друга. Отсутствию полной корреляции бактериологического исследования с цитологическим составом желчи может быть связано с субклинической колонизацией, низкой бактериальной нагрузкой или погрешностями преаналитического этапа.

Таким образом, комплексный анализ данных клинического обследования и визуальной диагностики, дополненный результатами цитологического и бактериологического исследования желчи, полученной посредством холецистоцентеза, необходим для верификации этиологического фактора патологии билиарной системы, объективной оценки прогноза заболевания и разработки эффективной стратегии лечения.

Рис. 5. Наличие бактериального агента в желчи: сравнительные данные в группах кошек и собак, $n = 108$

Fig. 5. Biliary bacterial presence: comparative findings in cats and dogs, $n = 108$



⁴ Методические указания МУК 4.2.1890—04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам» (URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754463.pdf>).

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 / REFERENCES

1. Johnson S.E., Sherding R.G. Diseases of the Liver and Biliary Tract. Johnson S.E., Sherding R.G. Saunders Manual of Small Animal Practice. 3rd ed. Saunders. 2006; 747–809. <https://doi.org/10.1016/B0-72-160422-6/50073-5>
2. Masserdotti C. The cytologic features of biliary diseases: A retrospective study. *Veterinary Clinical Pathology*. 2020; 49(3): 440–450. <https://doi.org/10.1111/vcp.12880>
3. Center S.A. Diseases of the Gallbladder and Biliary Tree. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2009; 39(3): 543–598. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2009.01.004>
4. Otte C.M.A., Penning L.C., Rothuizen J. Feline biliary tree and gallbladder disease: Aetiology, diagnosis and treatment. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2017; 19(5): 514–528. <https://doi.org/10.1177/1098612X17706465>
5. Neer T.M. A Review of Disorders of the Gallbladder and Extrahepatic Biliary Tract in the Dog and Cat. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 1992; 6(3): 186–192. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1992.tb00335.x>
6. Chapman S.E., Hostutler R.A. A Laboratory Diagnostic Approach to Hepatobiliary Disease in Small Animals. *Clinics in Laboratory Medicine*. 2015; 35(3): 503–519. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2015.05.002>
7. Gookin J.L., Mathews K.G., Cullen J., Seiler G. Qualitative metabolomics profiling of serum and bile from dogs with gallbladder mucocele formation. *PLOS One*. 2018; 13(1): e0191076. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191076>
8. Rahmani V., Spillmann T., Halttunen J., Syrjä P., Ruohoniemi M. Diagnostic value of endoscopic retrograde cholangiopancreatography and therapeutic value of endoscopic sphincterotomy in dogs with suspected hepatobiliary disorders. *BMC Veterinary Research*. 2022; 18: 146. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03241-4>
9. Jaffey J.A. et al. Ultrasonographic patterns, clinical findings, and prognostic variables in dogs from Asia with gallbladder mucocele. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2022; 36(2): 565–575. <https://doi.org/10.1111/jvim.16384>
10. Gookin J.L. Gallbladder Mucocele. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2025; 55(4): 665–679. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2025.03.011>
11. Besso J.G., Wrigley R.H., Gliatto J.M., Webster C.R. Ultrasonographic appearance and clinical findings in 14 dogs with gallbladder mucocele. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2000; 41(3): 261–271. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2000.tb01489.x>
12. Jaffey J.A. et al. Gallbladder Mucocele: Variables Associated with Outcome and the Utility of Ultrasonography to Identify Gallbladder Rupture in 219 Dogs (2007–2016). *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2018; 32(1): 195–200. <https://doi.org/10.1111/jvim.14898>

ОБ АВТОРАХ

Артём Павлович Фалуш

аспирант

artemfalush@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0005-3473-6061>

Анастасия Вячеславовна Чечнева

кандидат ветеринарных наук, доцент, интерн кафедры

«Ветеринарная интернатура»

chechnevaav@mgupp.ru

<https://orcid.org/0009-0002-4723-1423>

Дарья Александровна Вильмис

доктор ветеринарных наук, доцент

vilmisda@mgupp.ru

<https://orcid.org/0009-0007-0921-627X>

Российский биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ),
Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Artem Pavlovich Falush

Post graduate student

artemfalush@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0005-3473-6061>

Anastasia Vyacheslavovna Chechneva

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,

- Intern of the Department of Veterinary Internship

chechnevaav@mgupp.ru

<https://orcid.org/0009-0002-4723-1423>

Dariya Aleksandrovna Vilmis

Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor

vilmisda@mgupp.ru

<https://orcid.org/0009-0007-0921-627X>

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

УДК 619:616.314-089:636.7

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-29-34

К.А. Семенова ✉

А.С. Козлов

Ветеринарный центр «Четыре Лапы»,
Королев, Московская область,
Россия

✉ ksenia101201@gmail.com

Поступила в редакцию: 22.06.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Семенова К.А., Козлов А.С.

Scientific article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-29-34

Ksenia A. Semenova ✉

Artem S. Kozlov

Veterinary Center «Chetyre Lapy»,
Korolev, Moscow Region, Russia

✉ ksenia101201@gmail.com

Received by the editorial office: 22.06.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Semenova K.A., Kozlov A.S.

Клиническая оценка эффективности фироко при стоматологических и челюстно-лицевых операциях у собак

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цель работы — оценить эффективность применения фирококсиба в составе комплексной послеоперационной терапии собак после тотального удаления зубов при пародонтопатии III–IV стадии и хирургического лечения симфизарных переломов нижней челюсти, а также провести сравнительный анализ клинической эффективности фирококсиба и мелоксикама.

Методы. Исследование проводили на базе ветеринарного центра «Четыре Лапы» (г. Королев) в период с июля 2025 по апрель 2026 гг. В исследование были включены 47 собак различных пород, пола и возраста. У 34 животных выполняли тотальное удаление зубов по поводу пародонтопатии III–IV стадии, у 13 собак проводили хирургическое лечение симфизарных переломов нижней челюсти методом серкляжной фиксации. Всем животным выполняли регионарную анестезию ветвей верхнечелюстного и нижнечелюстного нервов препаратом артикаин. Послеоперационно применяли амоксициллин, а также фирококсиб или мелоксикам. Оценка эффективности терапии проводили по выраженности болевого синдрома, восстановлению аппетита, степени послеоперационного отека и наличию осложнений.

Результаты. У собак, получавших фирококсиб после тотального удаления зубов, выраженная боль через 24 часа после операции отмечалась у 15,8% животных против 40,0% в группе мелоксикама. Самостоятельный прием корма в первые сутки сохранялся у 84,2% животных группы фирококсиба и у 60,0% животных группы мелоксикама. Восстановление кормления происходило быстрее как после стоматологических вмешательств ($1,8 \pm 0,4$ против $3,1 \pm 0,8$ суток), так и после лечения симфизарных переломов нижней челюсти ($2,1 \pm 0,6$ против $3,8 \pm 1,1$ суток). Побочные эффекты при применении фирококсиба зарегистрированы не были.

Выводы. Применение фирококсиба в дозе 5 мг/кг обеспечивает эффективный контроль послеоперационной боли и воспаления у собак после стоматологических и челюстно-лицевых операций. Препарат способствует более быстрому восстановлению пищевого поведения, снижает потребность в дополнительной анальгезии и характеризуется хорошей переносимостью. Полученные результаты подтверждают перспективность применения фирококсиба в составе мультимодальной анальгезии в ветеринарной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии собак.

Ключевые слова: собака, фирококсиб, ветеринарная стоматология, пародонтопатия, тотальное удаление зубов, симфизарный перелом нижней челюсти, мультимодальная анальгезия, послеоперационная боль, ветеринарная хирургия, стоматологические операции

Для цитирования: Семенова К.А., Козлов А.С. Клиническая оценка эффективности препарата фироко при стоматологических и челюстно-лицевых операциях у собак. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 29–34.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-29-34>

Clinical evaluation of the efficacy of firocoxib in dental and maxillofacial surgery in dogs

ABSTRACT

Relevance. To evaluate the efficacy of firocoxib as part of comprehensive postoperative therapy in dogs undergoing total tooth extraction due to stage III–IV periodontal disease and surgical treatment of mandibular symphyseal fractures, and to compare its clinical effectiveness with meloxicam.

Methods. The study was conducted at the Veterinary Center “Chetyre Lapy” (Korolev, Moscow Region, Russian Federation) from July 2025 to April 2026. A total of 47 dogs of various breeds, ages, and sexes were included. Thirty-four dogs underwent total tooth extraction because of advanced periodontal disease, while thirteen dogs received surgical treatment of mandibular symphyseal fractures using cerclage wire fixation. All animals received regional anesthesia of the maxillary and mandibular nerve branches with articaine as part of multimodal analgesia. Postoperative management included amoxicillin therapy and administration of either firocoxib or meloxicam. Treatment efficacy was assessed based on postoperative pain severity, appetite recovery, postoperative swelling, and the occurrence of complications.

Results. In dogs receiving firocoxib after total tooth extraction, severe postoperative pain within 24 hours was observed in 15.8% of animals compared to 40.0% in the meloxicam group. Spontaneous food intake during the first postoperative day was maintained in 84.2% of dogs treated with firocoxib and in 60.0% of dogs treated with meloxicam. Recovery of normal feeding behavior occurred faster in the firocoxib group both after dental procedures (1.8 ± 0.4 vs. 3.1 ± 0.8 days) and after mandibular symphyseal fracture repair (2.1 ± 0.6 vs. 3.8 ± 1.1 days). No adverse effects associated with firocoxib administration were observed.

Conclusions. Firocoxib administered at a dose of 5 mg/kg provides effective control of postoperative pain and inflammation in dogs undergoing dental and maxillofacial surgical procedures. The drug promotes faster recovery of feeding behavior, reduces the need for additional analgesia, and demonstrates good tolerability. The findings support the use of firocoxib as a valuable component of multimodal analgesia in veterinary dentistry and maxillofacial surgery.

Key words: dog, firocoxib, veterinary dentistry, periodontal disease, total tooth extraction, mandibular symphyseal fracture, multimodal analgesia, postoperative pain, veterinary surgery, dental surgery

For citation: Semenova K.A., Kozlov A.S. Clinical evaluation of the efficacy of firocoxib in dental and maxillofacial surgery in dogs. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 29–34 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-29-34>

Введение/Introduction

Заболевания пародонта являются одной из наиболее распространенных патологий ротовой полости у собак и диагностируются у большинства животных старше трех лет¹ [1-4]. При тяжелых формах пародонтопатии развивается разрушение тканей пародонта, резорбция альвеолярной кости и потеря зубов, что нередко требует проведения множественных или тотальных экстракций² [5,6]. Помимо стоматологических заболеваний, значительную клиническую проблему представляют травматические повреждения челюстно-лицевой области, в частности симфизарные переломы нижней челюсти, сопровождающиеся выраженным болевым синдромом и нарушением приема корма³ [7,8]. Современные рекомендации WSAVA⁴ рассматривают мультимодальную аналгезию как стандарт послеоперационного обезболивания при стоматологических и челюстно-лицевых операциях у собак⁵. Важную роль в данной схеме играют нестероидные противовоспалительные препараты, обеспечивающие контроль боли и воспаления в послеоперационном периоде [9].

Послеоперационная боль при стоматологических вмешательствах у собак является одной из основных проблем ветеринарной стоматологии. Множественные экстракции зубов сопровождаются послеоперационным болевым синдромом и требуют применения эффективной аналгезии [9]. В настоящее время международные рекомендации предусматривают мультимодальный подход к обезболиванию, включающий регионарную анестезию и системное применение нестероидных противовоспалительных препаратов [10]. Нестероидные противовоспалительные препараты применяются для контроля боли и воспаления у собак, при этом выбор препарата должен учитывать его эффективность и безопасность [11]. Фирококсиб является селективным ингибитором ЦОГ-2 и применяется у собак в качестве противовоспалительного и анальгетического средства; его эффективность и переносимость изучались в клинических исследованиях. В отечественной литературе также представлены данные о применении фирококсиба у собак [11,12]. Однако данные о применении фирококсиба непосредственно в ветеринарной стоматологии остаются ограниченными, что определяет актуальность настоящего исследования.

Цель исследования — оценить эффективность применения фирококсиба в комплексной послеоперационной терапии собак после тотального удаления зубов при пародонтопатии III–IV стадии и хирургического лечения симфизарных переломов нижней челюсти.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование проводили в период с июля 2025 по апрель 2026 года на базе ветеринарного центра «Четыре Лапы» (Московская область, г. Королев).

В исследование были включены 47 собак различных пород, пола и возраста, поступивших на лечение по поводу стоматологических заболеваний или травматических повреждений челюстно-лицевой области. Возраст животных варьировал от 3 до 14 лет. Средний возраст составил $7,2 \pm 2,8$ года, средняя масса тела — $12,6 \pm 7,1$ кг. При интерпретации среднего значения массы тела следует учитывать неоднородность исследованной выборки по размерным группам: 28 из 47 собак (59,6%) относились к мелким породам, 14 (29,8%) — к средним и 5 (10,6%) — к крупным.

13 собак были диагностированы симфизарные переломы нижней челюсти различной степени тяжести. Хирургическое лечение включало репозицию костных фрагментов и стабилизацию перелома методом серкляжной фиксации. Распределение животных по группам исследования представлено в таблице 2.

Таблица 1. Общая характеристика животных, включенных в исследование

Table 1. General characteristics of animals included in the study

Показатель	Значение
Всего животных, n	47
Самцы, n (%)	24 (51,1)
Самки, n (%)	23 (48,9)
Возраст, лет	$7,2 \pm 2,8$
Диапазон возраста, лет	3–14
Собаки мелких пород, n (%)	28 (59,6)
Собаки средних пород, n (%)	14 (29,8)
Собаки крупных пород, n (%)	5 (10,6)

Примечание. Количественные данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение; категориальные данные — как абсолютное число животных и доля от общего количества, n (%).

Таблица 2. Распределение животных по группам исследования

Table 2. Distribution of animals by study groups

Показатель	Количество животных
Всего собак	47
Тотальное удаление зубов при пародонтопатии III–IV стадии	34
Симфизарные переломы нижней челюсти	13
Фирококсиб ⁶ (тотальные экстракции)	19
Мелоксикам ⁷ (тотальные экстракции)	15
Фирококсиб ⁶ (симфизарные переломы)	7
Мелоксикам ⁷ (симфизарные переломы)	6

¹ Niemiec B.A. ed. al. Veterinary Periodontology. Ames, IA: Wiley-Blackwell; 2013.

² Niemiec B.A. Small Animal Dental, Oral and Maxillofacial Disease: A Colour Handbook. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2019.

³ Verstraete F.J.M., Lommer M.J., eds. Oral and Maxillofacial Surgery in Dogs and Cats. St. Louis, MO: Elsevier; 2012.

⁴ <https://wsava.org/> (WORLD SMALL ANIMAL VETERINARY ASSOCIATION)

⁵ Reiter A.M., Gracis M., eds. BSAVA Manual of Canine and Feline Dentistry and Oral Surgery. 4th ed. Gloucester: WSAVA; 2018.

⁶ Фироко® (Firoco), действующее вещество — фирококсиб; ООО «ВМК — здоровье животных», Россия; нестероидное противовоспалительное средство, селективный ингибитор циклооксигеназы-2 (ЦОГ-2). Инструкция по ветеринарному применению лекарственного препарата Фироко® (Firoco). Регистрационное удостоверение № 32-3-28.23-5079, № ПВР-3-28.23/03894.

⁷ Мелоксivet 0,2% (Meloxivetum 0,2%) — раствор для подкожного введения; действующее вещество — мелоксикам, 2 мг/мл; нестероидное противовоспалительное средство класса оксикамов. Производитель: ООО «Белкарولين», Республика Беларусь, г. Витебск. Инструкция по применению препарата ветеринарного «Мелоксivet 0,2%», одобрена Советом по ветеринарным препаратам, протокол от 12 сентября 2019 г. № 103.

Все хирургические вмешательства выполняли ветеринарные врачи К.А. Семенова и А.С. Козлов на базе ветеринарного центра «Четыре Лапы» (г. Королев, Московская область). Лечебно-диагностические и хирургические манипуляции проводили с соблюдением принципов гуманного обращения с животными и требований Федерального закона от 27 декабря 2018 г. № 498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»⁸.

Анамнестические сведения получали со слов владельцев животных. После завершения хирургического вмешательства собак содержали в условиях ветеринарного центра под наблюдением ветеринарного врача до пробуждения и восстановления после общей анестезии, после чего животных передавали владельцам с рекомендациями по послеоперационному уходу и назначенной терапии. Контрольный клинический осмотр проводили через 24 часа и 72 после хирургического вмешательства. В ходе осмотра оценивали общее состояние животного, выраженность болевого синдрома, реакцию на пальпацию области хирургического вмешательства, наличие и степень послеоперационного отека, а также возможные осложнения. Сведения об аппетите и самостоятельном приеме корма после возвращения животного домой получали со слов владельцев.

В целях мультимодальной аналгезии всем животным независимо от группы исследования проводили регионарную проводниковую анестезию ветвей верхнечелюстного и нижнечелюстного нервов препаратом Ультракаин® Д (артикаин 40 мг/мл; Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, Германия) в общепринятых терапевтических дозировках. В зависимости от локализации хирургического вмешательства, выполняли инфраорбитальные, максиллярные, ментальные и мандибулярные блокады. Послеоперационная терапия животных после тотального удаления зубов включала местную обработку полости рта раствором 0,05% раствором хлоргексидина биглюконата (ООО «Тульская фармацевтическая фабрика», Россия), применение стоматологического геля Reginox DentalGel (НС-Рабиес, Россия), а также антибиотикотерапию амоксициллином в дозе 15 мг/кг массы тела в течение 7 суток.

Для оценки эффективности послеоперационной аналгезии животные были разделены на две группы. Первая группа (n = 19) получала фирококсиб в дозе 5 мг/кг массы тела один раз в сутки в течение 3 дней после операции. Вторая группа (n = 15) получала мелоксикам в стандартных терапевтических дозировках в течение аналогичного периода. У животных с симфизарными переломами нижней челюсти послеоперационная терапия включала антибиотикотерапию амоксициллином в дозе 15 мг/кг в течение 7 суток. Для контроля болевого синдрома

и воспалительной реакции часть животных получала фирококсиб в дозе 5 мг/кг один раз в сутки в течение 10–14 суток после операции с последующим применением по клиническим показаниям, вторая группа получала мелоксикам в стандартных терапевтических дозировках.

Оценку эффективности лечения проводили на основании клинического осмотра животных [13]. Выраженность послеоперационного болевого синдрома оценивали с использованием шкалы Glasgow Composite Measure Pain Scale — Short Form (CMPS-SF)⁹. Оценку проводили через 24 и 72 часа после хирургического вмешательства. При интерпретации результатов учитывали поведенческие реакции животного, уровень активности, реакцию на пальпацию операционной области, пищевое поведение и общее клиническое состояние пациента [14,15]. Необходимость дополнительного обезболивания определяли на основании клинической оценки и результатов шкалы боли [16].

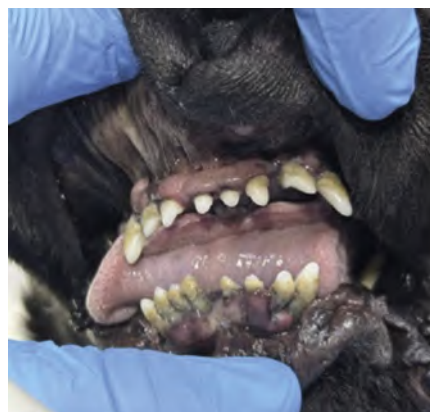
Статистическую обработку результатов выполняли с использованием программы Microsoft Excel (США). Для сравнения качественных признаков между группами применяли критерий χ^2 Пирсона. Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Оценку эффективности терапии проводили по выраженности послеоперационного болевого синдрома, сохранению аппетита, срокам восстановления самостоятельного приема корма, степени воспалительной реакции и наличию осложнений. Клиническая картина пародонтопатии IV стадии у собак до хирургического лечения характеризовалась выраженными над- и поддесневыми зубными отложениями, рецессией десны, хроническим воспалением тканей пародонта и потерей пародонтального прикрепления (рис. 1).

Рис. 1. Пародонтопатия IV стадии у собаки перед хирургическим лечением. Французский бульдог, 6 лет. Фото К.А. Семеновой.

Fig. 1. Stage IV periodontal disease in a dog before surgical treatment. French Bulldog, 6 years old. Photo by K.A. Semenova.



⁸ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

⁹ Reid J., Nolan A.M., Hughes J.M.L., Lascelles D., Pawson P., Scott E.M. Development of the short-form Glasgow Composite Measure Pain Scale (CMPS-SF) and derivation of an analgesic intervention score. *Animal Welfare*. 2007;16:97–104.

У собак после тотального удаления зубов по поводу пародонтопатии III–IV стадии выраженный болевой синдром через 24 часа после операции отмечался у 15,8% животных группы фирококсиба и у 40,0% животных группы мелоксикама. Самостоятельный прием корма в первые сутки сохранялся у 84,2% и 60,0% животных соответственно. Дополнительное обезболивание потребовалось одному животному группы фирококсиба и пяти животным группы мелоксикама. Результаты оценки послеоперационного состояния животных представлены в таблице 3.

После удаления зубов проводили санацию альвеолярных лунок с последующей подготовкой тканей и ушиванием операционной раны слизисто-надкостничным лоскутом. Интраоперационный вид после удаления зубов верхней челюсти представлен на рис. 2.

У животных группы фирококсиба отмечались меньшая выраженность послеоперационного отека и более быстрое восстановление самостоятельного кормления по сравнению с группой мелоксикама.

Перед хирургическим лечением симфизарного перелома нижней челюсти проводили рентгенологическое исследование для оценки локализации повреждения и положения фрагментов. На предоперационной рентгенограмме определялось нарушение целостности симфиза с расхождением правой и левой половин нижней челюсти (рис. 3).

У собак с симфизарными переломами нижней челюсти послеоперационное восстановление также протекало быстрее при использовании фирококсиба. Средний срок восстановления самостоятельного приема корма составил $2,1 \pm 0,6$ суток против $3,8 \pm 1,1$ суток в группе мелоксикама. Через 14 суток после операции признаки локального воспаления отсутствовали у всех животных группы фирококсиба. Результаты лечения собак с симфизарными переломами нижней челюсти представлены в таблице 4.

Консолидация переломов была достигнута у всех животных обеих групп в сроки от 8 до 12 недель. Побочных эффектов при применении

Таблица 3. Результаты после тотального удаления зубов

Table 3. Results after total tooth extraction

Показатель	Фирококсиб, число животных (%)	Мелоксикам, число животных (%)
Выраженная боль через 24 часа	3 (15,8)	6 (40,0)
Сохранение аппетита в первые сутки	16 (84,2)	9 (60,0)
Боль на третьи сутки	1 (5,3)	4 (26,7)
Дополнительное обезболивание	1 (5,3)	5 (33,3)
Умеренный отек мягких тканей	4 (21,1)	7 (46,7)
Восстановление самостоятельного кормления, сутки	$1,8 \pm 0,4$	$3,1 \pm 0,8$
Побочные эффекты	0 (0)	2 (13,3)

Рис. 2. Интраоперационный вид после удаления зубов верхней челюсти у собаки породы немецкая овчарка, 8 лет, самец. Фото К.А. Семенов.

Fig. 2. Intraoperative view after extraction of maxillary teeth in an 8-year-old male German Shepherd Dog. Photo by K.A. Semenova.

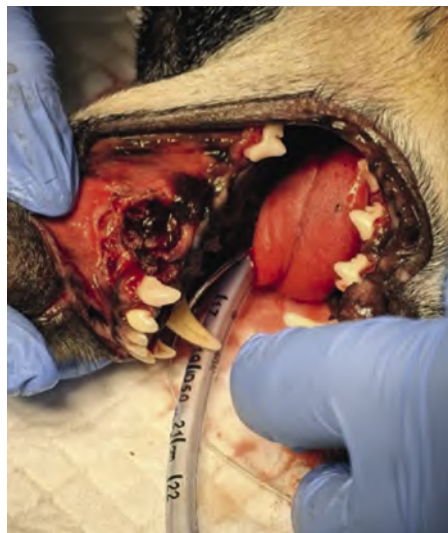


Рис. 3. Предоперационная рентгенограмма нижней челюсти собаки с симфизарным переломом, Мопс, 4,7 лет. Изображение А.С. Козлова.

Fig. 3. Preoperative radiograph of the mandible in a dog with a symphyseal fracture, a Pug, 4,7 years old. Image by A.S. Kozlov.



Таблица 4. Результаты лечения собак с симфизарными переломами нижней челюсти

Table 4. Treatment outcomes in dogs with mandibular symphyseal fractures

Показатель	Фирококсиб (n = 7)	Мелоксикам (n = 6)
Восстановление самостоятельного кормления, сутки	$2,1 \pm 0,6$	$3,8 \pm 1,1$
Признаки локального воспаления на 14-е сутки, гол. (%)	0 (0)	1 (16,7)
Дополнительное обезболивание, гол. (%)	0 (0)	1 (16,7)
Консолидация перелома через 8–12 недель, гол. (%)	7 (100)	6 (100)
Побочные эффекты, гол. (%)	0 (0)	1 (16,7)

фирококсиба не зарегистрировано. Полученные результаты свидетельствуют о более эффективном контроле боли и воспаления при использовании фирококсиба в составе послеоперационной терапии.

Полученные результаты подтверждают эффективность фирококсиба в составе мультимодальной анальгезии у собак после стоматологических и челюстно-лицевых операций. Более быстрое восстановление аппетита, меньшая выраженность воспалительной реакции и снижение потребности в дополнительном обезболивании согласуются с современными представлениями о преимуществах селективных ингибиторов ЦОГ-2 [17,18].

Согласно рекомендациям WSAVA, сочетание регионарной анестезии и нестероидных противовоспалительных препаратов является оптимальным подходом к контролю послеоперационной боли в ветеринарной стоматологии. Примененная в исследовании схема мультимодальной анальгезии соответствовала данным рекомендациям.

Полученные результаты сопоставимы с опубликованными данными о высокой эффективности фирококсиба и других коксибов при контроле послеоперационной боли у собак [18]. Отсутствие зарегистрированных побочных эффектов также подтверждает высокий профиль безопасности препарата [19,20].

Таким образом, фирококсиб может рассматриваться как эффективный компонент послеоперационной терапии собак после тотального удаления зубов и хирургического лечения симфизарных переломов нижней челюсти.

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

- Wallis C., Holcombe L.J. A review of the frequency and impact of periodontal disease in dogs. *Journal of Small Animal Practice*. 2020; 61(9): 529–540. <https://doi.org/10.1111/jsap.13218>
- O'Neill D.G., Mitchell C.E., Humphrey J., Church D.B., Brodbelt D.C., Pegram C. Epidemiology of periodontal disease in dogs in the UK primary-care veterinary setting. *Journal of Small Animal Practice*. 2021; 62(12): 1051–1061. <https://doi.org/10.1111/jsap.13405>
- Stella J.L., Bauer A.E., Cronley C.C. A cross-sectional study to estimate prevalence of periodontal disease in a population of dogs (*Canis familiaris*) in commercial breeding facilities in Indiana and Illinois. *PLOS One*. 2018; 13(1): e0191395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191395>
- Kortegaard H.E., Eriksen T., Baelum V. Periodontal disease in research beagle dogs — an epidemiological study. *Journal of Small Animal Practice*. 2008; 49(12): 610–616. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2008.00609.x>
- Бычков В.С., Концевая С.Ю., Макаров И.Н. Диагностика в ветеринарной стоматологии. *Иппология и ветеринария*. 2017; (1): 31–37. EDN YIRGAJ
- Niemiec B.A. et al. World Small Animal Veterinary Association Global Dental Guidelines. *Journal of Small Animal Practice*. 2020; 61(7): E36–E161. <https://doi.org/10.1111/jsap.13132>
- Фролов В.В., Копчекчи М.Е., Зирук И.В., Егунова А.В., Кулинов А.В. Абфракционные поражения зубов у собак. *Аграрная наука*. 2023; (1): 27–30. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-27-30>
- Mathews K. et al. Guidelines for Recognition, Assessment and Treatment of Pain. *Journal of Small Animal Practice*. 2014; 55(6): E10–E68. <https://doi.org/10.1111/jsap.12200>
- Jones T.L., Cediell R., Wolff S., Thomas K., Hofmeister E.H. Post-operative Pain Assessment Following Tooth Extraction Using Liposomal Encapsulated Bupivacaine as a Local Anesthetic in Dogs. *Journal of Veterinary Dentistry*. 2025; 42(1): 75–79. <https://doi.org/10.1177/08987564231161226>
- Monteiro-Stegall B.P., Stegall P.V.M., Lascelles B.D.X. Systematic Review of Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drug-Induced Adverse Effects in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2013; 27(5): 1011–1019. <https://doi.org/10.1111/jvim.12127>

Выводы/Conclusion

В исследованной выборке собак применение фирококсиба в дозе 5 мг/кг сопровождалось более благоприятными показателями послеоперационного восстановления по сравнению с применением мелоксикама. После тотального удаления зубов средний срок восстановления самостоятельного приема корма составил $1,8 \pm 0,4$ суток в группе фирококсиба и $3,1 \pm 0,8$ суток в группе мелоксикама, то есть был короче на 1,3 суток (41,9%). Выраженный болевой синдром через 24 часа после операции отмечался у 15,8% животных группы фирококсиба и у 40,0% животных группы мелоксикама. Дополнительное обезболивание потребовалось 5,3% и 33,3% животных соответственно. Умеренный отек мягких тканей регистрировали у 21,1% собак группы фирококсиба и у 46,7% собак группы мелоксикама.

После хирургического лечения симфизарных переломов нижней челюсти средний срок восстановления самостоятельного приема корма составил $2,1 \pm 0,6$ суток при применении фирококсиба и $3,8 \pm 1,1$ суток при применении мелоксикама, то есть был короче на 1,7 суток (44,7%). Через 14 суток признаки локального воспаления отсутствовали у всех животных группы фирококсиба.

Полученные результаты относятся к исследованной выборке собак после тотального удаления зубов при пародонтопатии III–IV стадии и хирургического лечения симфизарных переломов нижней челюсти и указывают на целесообразность дальнейшего изучения применения фирококсиба в составе мультимодальной послеоперационной анальгезии при данных видах хирургических вмешательств.

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

- Wallis C., Holcombe L.J. A review of the frequency and impact of periodontal disease in dogs. *Journal of Small Animal Practice*. 2020; 61(9): 529–540. <https://doi.org/10.1111/jsap.13218>
- O'Neill D.G., Mitchell C.E., Humphrey J., Church D.B., Brodbelt D.C., Pegram C. Epidemiology of periodontal disease in dogs in the UK primary-care veterinary setting. *Journal of Small Animal Practice*. 2021; 62(12): 1051–1061. <https://doi.org/10.1111/jsap.13405>
- Stella J.L., Bauer A.E., Cronley C.C. A cross-sectional study to estimate prevalence of periodontal disease in a population of dogs (*Canis familiaris*) in commercial breeding facilities in Indiana and Illinois. *PLOS One*. 2018; 13(1): e0191395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191395>
- Kortegaard H.E., Eriksen T., Baelum V. Periodontal disease in research beagle dogs — an epidemiological study. *Journal of Small Animal Practice*. 2008; 49(12): 610–616. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2008.00609.x>
- Bychkov V., Kontceva S., Makarov I. Diagnostics in veterinary dentistry. *Hippology and Veterinary Medicine*. 2017; (1): 31–37 (in Russian). EDN YIRGAJ
- Niemiec B.A. et al. World Small Animal Veterinary Association Global Dental Guidelines. *Journal of Small Animal Practice*. 2020; 61(7): E36–E161. <https://doi.org/10.1111/jsap.13132>
- Frolov V.V., Kopchekchi M.E., Ziruk I.V., Egunova A.V., Kudinov A.V. Abfraction lesions of teeth in dogs. *Agrarian science*. 2023; (1): 27–30 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-27-30>
- Mathews K. et al. Guidelines for Recognition, Assessment and Treatment of Pain. *Journal of Small Animal Practice*. 2014; 55(6): E10–E68. <https://doi.org/10.1111/jsap.12200>
- Jones T.L., Cediell R., Wolff S., Thomas K., Hofmeister E.H. Post-operative Pain Assessment Following Tooth Extraction Using Liposomal Encapsulated Bupivacaine as a Local Anesthetic in Dogs. *Journal of Veterinary Dentistry*. 2025; 42(1): 75–79. <https://doi.org/10.1177/08987564231161226>
- Monteiro-Stegall B.P., Stegall P.V.M., Lascelles B.D.X. Systematic Review of Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drug-Induced Adverse Effects in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2013; 27(5): 1011–1019. <https://doi.org/10.1111/jvim.12127>

11. Оробец В.А., Кастарнова Е.С., Мукасеев С.В., Зейналов О.А. Фармако-токсикологическая характеристика нового нестероидного противовоспалительного препарата для ветеринарного применения Фирококсиб-АСТРА® таблетки. *Российский ветеринарный журнал*. 2025; (1): 27–35. <https://doi.org/10.32416/2500-4379-2025-1-27-35>
12. Меликова Ю.Н., Чечнева А.В., Вильмис Д.А., Малиюкова У.А. Эффективность применения «Фирококсиба» в комплексной паллиативной терапии сарком мягких тканей у собак. *Аграрная наука*. 2025; (7): 14–22. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-14-22>
13. Reid J., Nolan A.M., Hughes J.M.L., Lascelles D., Pawson P., Scott E.M. Development of the short-form Glasgow Composite Measure Pain Scale (CMPS-SF) and derivation of an analgesic intervention score. *Animal Welfare*. 2007; 16(S1): 97–104. <https://doi.org/10.1017/S096272860003178X>
14. Holton L., Pawson P., Nolan A., Reid J., Scott E.M. Development of a behaviour-based scale to measure acute pain in dogs. *Veterinary Record*. 2001; 148(17): 525–531. <https://doi.org/10.1136/vr.148.17.525>
15. Testa B., Reid J., Scott M.E., Murison P.J., Bell A.M. The Short Form of the Glasgow Composite Measure Pain Scale in Post-operative Analgesia Studies in Dogs: A Scoping Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 751949. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.751949>
16. Marco-Martorell M., Duffy N., Martinez M., Maddox T., Robson K. Agreement of Pain Assessment Using the Short Form of the Canine Glasgow Composite Measure Pain Scale between Veterinary Students, Veterinary Nurses, Veterinary Surgeons, and ECVAA-Diplomates. *Animals*. 2024; 14(16): 2310. <https://doi.org/10.3390/ani14162310>
17. Steagall P.V.M., Mantovani F.B., Ferreira T.H., Salcedo E.S., Moutinho F.Q., Luna S.P.L. Evaluation of the adverse effects of oral firocoxib in healthy dogs. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 2007; 30(3): 218–223. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.2007.00842.x>
18. Davila D., Keeshen T.P., Evans R.B., Conzemius M.G. Comparison of the analgesic efficacy of perioperative firocoxib and tramadol administration in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2013; 243(2): 225–231. <https://doi.org/10.2460/javma.243.2.225>
19. Leece E.A., Brearley J.C., Harding E.F. Comparison of carprofen and meloxicam for 72 hours following ovariohysterectomy in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*. 2005; 32(4): 184–192. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2005.00207.x>
20. Osada H. et al. Toceranib phosphate and firocoxib-mediated partial response in a dog with advanced intranasal sarcoma. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2023; 85(9): 1004–1009. <https://doi.org/10.1292/jvms.22-0542>
11. Orobets V.A., Kastarnova E.S., Mukaseev S.V., Zeynalov O.A. Pharmacotoxicological characteristics of a new non-steroidal anti-inflammatory drug for veterinary use Firocoxib-ASTRA® tablets. *Russian veterinary journal*. 2025; (1): 27–35 (in Russian). <https://doi.org/10.32416/2500-4379-2025-1-27-35>
12. Melikova J.N., Chechneva A.V., Vilmis D.A., Malyukova U.A. The effectiveness of “Firocoxib” in the complex palliative treatment of soft tissue sarcomas in dogs. *Agrarian science*. 2025; (7): 14–22 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-14-22>
13. Reid J., Nolan A.M., Hughes J.M.L., Lascelles D., Pawson P., Scott E.M. Development of the short-form Glasgow Composite Measure Pain Scale (CMPS-SF) and derivation of an analgesic intervention score. *Animal Welfare*. 2007; 16(S1): 97–104. <https://doi.org/10.1017/S096272860003178X>
14. Holton L., Pawson P., Nolan A., Reid J., Scott E.M. Development of a behaviour-based scale to measure acute pain in dogs. *Veterinary Record*. 2001; 148(17): 525–531. <https://doi.org/10.1136/vr.148.17.525>
15. Testa B., Reid J., Scott M.E., Murison P.J., Bell A.M. The Short Form of the Glasgow Composite Measure Pain Scale in Post-operative Analgesia Studies in Dogs: A Scoping Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 751949. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.751949>
16. Marco-Martorell M., Duffy N., Martinez M., Maddox T., Robson K. Agreement of Pain Assessment Using the Short Form of the Canine Glasgow Composite Measure Pain Scale between Veterinary Students, Veterinary Nurses, Veterinary Surgeons, and ECVAA-Diplomates. *Animals*. 2024; 14(16): 2310. <https://doi.org/10.3390/ani14162310>
17. Steagall P.V.M., Mantovani F.B., Ferreira T.H., Salcedo E.S., Moutinho F.Q., Luna S.P.L. Evaluation of the adverse effects of oral firocoxib in healthy dogs. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 2007; 30(3): 218–223. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.2007.00842.x>
18. Davila D., Keeshen T.P., Evans R.B., Conzemius M.G. Comparison of the analgesic efficacy of perioperative firocoxib and tramadol administration in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2013; 243(2): 225–231. <https://doi.org/10.2460/javma.243.2.225>
19. Leece E.A., Brearley J.C., Harding E.F. Comparison of carprofen and meloxicam for 72 hours following ovariohysterectomy in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*. 2005; 32(4): 184–192. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2005.00207.x>
20. Osada H. et al. Toceranib phosphate and firocoxib-mediated partial response in a dog with advanced intranasal sarcoma. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2023; 85(9): 1004–1009. <https://doi.org/10.1292/jvms.22-0542>

ОБ АВТОРАХ

Ксения Андреевна Семенова

ветеринарный врач
ksenia101201@gmail.com

Артём Сергеевич Козлов

ветеринарный врач
artcoz@yandex.ru

Ветеринарный центр «Четыре Лапы»,
проспект Космонавтов, д. 41, корп. 1, Королев,
Московская область, 141075, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Ksenia Andreevna Semenova

Veterinarian
ksenia101201@gmail.com

Artem Sergeevich Kozlov

Veterinarian
artcoz@yandex.ru

Veterinary Center «Chetyre Lapy»,
41/1 Kosmonavtov Avenue, Korolev, Moscow Region, 141075,
Russia

УДК 619:615.281-026.86

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-35-42

А.П. Хороводов^{1, 2} ✉О.С. Ларионова²А.П. Семакова¹Л.М. Кашковская¹М.И. Сафарова¹¹ООО «НИТА-ФАРМ», Саратов, Россия²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

✉ horovodov@nita-farm.ru

Поступила в редакцию: 25.02.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Хороводов А.П., Ларионова О.С., Семакова А.П., Кашковская Л.М., Сафарова М.И.

Scientific article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-35-42

Aleksandr P. Khorovodov^{1, 2} ✉Olga S. Larionova²Anna P. Semakova¹Ludmila M. Kashkovskaya¹Maria I. Safarova¹¹ NITA-FARM LLC, Saratov, Russia.² Vavilov University, Saratov, Россия

✉ horovodov@nita-farm.ru

Received by the editorial office: 25.02.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Khorovodov A.P., Larionova O.S., Semakova A.P., Kashkovskaya L.M., Safarova M.I.

Оценка субхронической токсичности лекарственного препарата Азитронит® ТАБ.

РЕЗЮМЕ

Исследование направлено на оценку субхронической токсичности препарата Азитронит® ТАБ при длительном пероральном введении лабораторным крысам. Препарат вводили животным на протяжении 42 дней в дозах 44, 132 и 220 мг/кг один раз в сутки. Изучение отсроченных эффектов и обратимости токсических эффектов проводили через 10 дней после отмены препарата. Измененные показатели на протяжении всего периода наблюдений оставались в пределах физиологической нормы. Через 10 суток после отмены в группе с максимальной дозой сохранялись статистически значимые различия по содержанию щелочной фосфатазы, общего билирубина и аланинаминотрансферазы в сравнении с контролем; уровень аспартатаминотрансферазы не отличался от контрольных значений. На фоне тенденции к нормализации биохимических показателей указанные изменения можно трактовать как обратимые даже при длительном применении препарата в повышенных дозах. Таким образом, длительное применение Азитронит® ТАБ не приводит к выраженным метаболическим нарушениям, что подтверждает хорошую переносимость препарата.

Ключевые слова: азитромицин, Азитронит® ТАБ, субхроническая токсичность, крысы, макролиды, лабораторные животные, внутрижелудочное введение, гематология, биохимия, кровь

Для цитирования: Хороводов А.П., Ларионова О.С., Семакова А.П., Кашковская Л.М., Сафарова М.И. Оценка субхронической токсичности лекарственного препарата Азитронит® ТАБ. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 35–42. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-35-42>

Evaluation of subchronic toxicity of the drug Azitronit® TAB

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the subchronic toxicity of Azitronit® TAB following long-term oral administration to laboratory rats. The drug was administered once daily for 42 days at doses of 44, 132, and 220 mg/kg. Delayed effects and the reversibility of toxic effects were assessed 10 days after drug withdrawal. All altered parameters remained within the physiological normal range throughout the observation period. At 10 days after discontinuation, statistically significant differences in alkaline phosphatase, total bilirubin, and alanine aminotransferase persisted in the maximum-dose group compared with the control; aspartate aminotransferase did not differ from control values. Given the trend toward normalization of biochemical parameters, these changes can be considered reversible even after prolonged administration at elevated doses. Thus, long-term use of Azitronit® TAB does not lead to pronounced metabolic disturbances, which confirms the good tolerability of the drug.

Key words: azithromycin, Azitronit® TAB, subchronic toxicity, rats

For citation: Khorovodov A.P., Larionova O.S., Semakova A.P., Kashkovskaya L.M., Safarova M.I. Evaluation of subchronic toxicity of the drug Azitronit® TAB. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 35–42 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-35-42>

Введение/Introduction

Респираторные заболевания занимают важное место в структуре общей инфекционной патологии кошек и собак, обуславливая значительное количество обращений за ветеринарной помощью [1, 2]. Так, по результатам исследования 573 кошек в восьми приютах Калифорнии в 2001 и 2002 гг., распространенность *Bordetella bronchiseptica*, *Chlamydophila felis* и *Mycoplasma* составила от 2 до 14 % [3].

Этиологическая структура заболеваний дыхательных путей является многофакторной. Основную роль играют вирусные агенты, такие как вирус герпеса кошек (FHV-1) и калицивирус кошек (FCV) [4]. Однако бактериальные патогены, включая *Mycoplasma spp.*, *Pasteurella multocida* и *Bordetella bronchiseptica*, часто выступают в качестве вторичных инфекционных агентов [5,6]. Бактериальная коинфекция усиливает клинические проявления заболевания и увеличивает длительность течения [5]. Аналогичные тенденции наблюдаются и у собак, где респираторные инфекции входят в число ведущих причин обращения в ветеринарные клиники.

Клинический синдром, связанный с комплексом инфекционных респираторных заболеваний собак, обычно характеризуется внезапным появлением кашля, сопровождающегося чиханием или нет. В зависимости от возбудителя инфекции могут наблюдаться выделения из носа и глаз [7]. Лихорадка встречается редко, но может присутствовать.

Среди вирусов, которые могут быть причиной заболевания, — аденовирус собак 2-го типа, вирус чумы плотоядных, респираторный коронавирус собак, вирусы собачьего гриппа, герпесвирус собак, пневмовирус собак и вирус парагриппа собак [7–9].

К бактериям, которые считаются основными патогенами этого комплекса, относятся *B. bronchiseptica*, *S. Equi* подвида *zooepidemicus* и *Mycoplasma spp.* [8–10]. Бактериальные инфекции верхних дыхательных путей, в том числе вторичные инфекции, вызванные вирусными заболеваниями, зачастую требуют назначения антибиотикотерапии. Однако, существует ряд ограничений применения антибиотиков в ветеринарной медицине, наиболее значимой из которых является антибиотикорезистентность. Проблема антибиотикорезистентности среди бактериальных патогенов приобретает все большее значение [11]. Широкое и эмпирическое применение антибиотиков способствует селекции устойчивых штаммов [11, 12].

Дополнительную угрозу представляет возможность передачи резистентных бактерий человеку [13]. В условиях роста резистентности

возникает необходимость поиска новых антибиотиков, либо модификации уже имеющихся. Традиционные препараты, такие как β -лактамы и тетрациклины, демонстрируют снижение эффективности, а применение фторхинолонов ограничено рисками побочных эффектов [14]. В этой связи макролиды представляют особый интерес благодаря их способности проникать внутрь клеток и накапливаться в тканях дыхательных путей [15]. Азитромицин является одним из наиболее перспективных макролидов, обладающим длительным периодом полувыведения и высоким объемом распределения [15]. Он эффективен против широкого спектра респираторных патогенов, включая *Mycoplasma spp.* и *Bordetella bronchiseptica* [15]. Получение новой диспергируемой формы позволяет снизить болезненность, которая наблюдается при введении инъекционных форм, при этом не снижая его эффективности [16, 17].

Клиническая эффективность и безопасность — ключевые аспекты любого лекарственного средства. Однако создание оригинальных лекарств может увеличивать риск развития нежелательных побочных реакций. В этой связи неотъемлемой частью разработки новых ветеринарных препаратов является доклиническая оценка их безопасности. Введение препарата лабораторным животным в течение длительного периода позволяет выявить токсические эффекты, обратимость вызываемых повреждений и определить органы-мишени в организме [18].

Целью настоящего исследования являлась оценка субхронической токсичности Азитронит® ТАБ на лабораторных крысах для подтверждения его безопасности при длительном применении в дозах, многократно превышающих терапевтическую.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования были проведены на базе вивария ООО «НИТА-ФАРМ» в период с октября по декабрь 2025 года.

Для оценки субхронической токсичности препарата Азитронит® ТАБ (ООО «НИТА-ФАРМ», Россия) его вводили крысам перорально на протяжении 42 дней с последующим наблюдением через 10 дней после отмены. Эксперимент проводился на самках крыс линии Wistar возрастом 12 недель, массой 200–220 г.

Во время эксперимента все животные находились в стандартных условиях, получали стандартный комбинированный корм и питьевую воду *ad libitum*.

Все экспериментальные исследования проводились в соответствии с Российским Законодательством¹ и правилами, принятыми Европейской

¹ Приказ Минсельхоза России от 14.03.2025 № 153 «Об утверждении Правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения»

конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей²⁻⁴.

Животные были разделены на 4 группы по 10 крыс: первая группа получала препарат в терапевтической дозе 44 мг/кг, вторая в 3-кратной терапевтической дозе — 132 мг/кг, третья — в 5-ти кратной терапевтической дозе 220 мг/кг, а четвертая группа служила контролем. Животных распределяли по группам рандомизированно.

Перед введением проводили пробоподготовку препарата — готовили суспензию на 2%-ом растворе крахмала из расчета: 2 мг азитромицина в 0,1 мл суспензии.

Таким образом, объем введения суспензии в каждой группе составил:

- для 1-ой группы — 0,1 мл / 200 г м.т. крысы (что соответствует 44 мг/кг по препарату, 10 мг/кг по действующему веществу азитромицину);
- для 2-ой группы — 0,3 мл / 200 г м.т. крысы (что соответствует 132 мг/кг по препарату, 30 мг/кг по действующему веществу азитромицину);
- для 3-ей группы — 0,5 мл / 200 г м.т. крысы (что соответствует 220 мг/кг по препарату, 50 мг/кг по действующему веществу азитромицину).

Контрольной группе животных вводили 2%-й раствор крахмала в объеме, аналогичном вводимому объему препарата в опытных группах — 0,5 мл на 200 г м.т.ж.

Препарат вводили внутрижелудочно ежедневно в течение 42 суток. Плановая эвтаназия животных была проведена при помощи декапитации с соблюдением этических норм и минимизацией страданий животных (протокол заседания биоэтической комиссии Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова №1 от 22.10.2025). Патологоанатомическое вскрытие проводили в два этапа: через 1 (n = 5) и 10 (n = 5) суток после завершения введения препарата с макроскопической оценкой следующих органов и тканей: кожа с подкожной клетчаткой, печень, легкие, почки, сердце, селезенка, желудок, тонкий и толстый кишечник. Животных взвешивали на лабораторных весах A&D GP-12K (Япония), массу органов измеряли на электронных лабораторных весах AND GX-1000 (Япония). СИ поверены.

Относительная масса органа (*S*) рассчитывалась как отношение массы органа (*m*) к массе тела животного (*M*), умноженное на 100%:

В исследовании оценивали гематологические (эритроциты, тромбоциты, лейкоциты, моноциты, нейтрофилы, лимфоциты, гемоглобин, гематокрит) и биохимические (уровень аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы

(АЛТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), мочевины, креатинина, общего билирубина, общего белка и глюкозы) показатели крови. Отбор крови производили после декапитации также в два этапа. Общий анализ крови и анализ биохимических показателей проводили на базе лаборатории вивария ООО «НИТА-ФАРМ». Исследование морфологического состава периферической крови проводили на гематологическом автоматическом анализаторе Abacus Vet 5 (Венгрия). Биохимические исследования показателей крови проводили на полуавтоматическом биохимическом анализаторе Clima-15 (Испания) с набором биохимических реагентов для ветеринарии «ДиаВетТест» («Диакон-ДС», Россия).

Оценку субхронической токсичности препарата проводили на основе интегрального анализа данных по выживаемости, массе тела, характеру и продолжительности симптомов интоксикации (активность, реакция на раздражители, состояние шерстного покрова, поза, дыхание, слюнотечение, тремор, судороги, диарея, потребление корма/воды) гематологическим и биохимическим параметрам, массовым коэффициентам внутренних органов и выявленным патоморфологическим изменениям^{5, 6}. Полученные экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке с помощью программного обеспечения Microsoft Excel (США) для персонального компьютера. Статистическую значимость различий оценивали для каждой опытной группы относительно контрольной группы на соответствующем сроке наблюдения. Межгрупповые сравнения между опытными группами не проводили. Нормальность распределения оценивали критерием Шапиро-Уилка. Для всех данных были подсчитаны средние значения и ширина доверительного интервала ($p = 0,05$). Равенство средних значений выборок вычисляли по критерию Стьюдента. F-критерий Фишера применяли для оценки дисперсий.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Во время эксперимента общее состояние крыс оставалось стабильным, отклонений в поведении, признаков интоксикации или случаев гибели животных не наблюдалось.

Масса тела животных в контрольной и опытных группах на начальном этапе была однородной (рисунок 1), что подтверждает нормальное распределение животных по группам. В ходе исследования снижение массы тела животных не наблюдалось ни в одной из групп.

Некропсия, проведенная через 1 и 10 дней после последнего введения препарата, не выявила

² European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS 123). Strasbourg, 1986.

³ Директива 2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского Союза от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях.

⁴ Guide for the care and use of laboratory animals. National Academy press. — Washington D.C. 1996.

⁵ Миронов А.Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая. / А.Н. Миронов // М.: Гриф и К, 2012. — 944 с.

⁶ Хабриев Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Р.У. Хабриев. — М.: Медицина, 2005. — 832 с.

патологических изменений во внутренних органах. Показано, что статистически достоверных различий между массовыми коэффициентами (МК) органов крыс из контрольной и опытных групп не наблюдалось (Таблица 1).

На 43-и сутки масса тела крыс во всех группах находилась в диапазоне 293–325 г, при этом наименьшая средняя масса отмечена в группе №1 (293 ± 45 г), наибольшая — в группе №3 (325 ± 22 г), различия статистически недостоверны. Абсолютная масса печени была несколько ниже в группе №1 ($9,8 \pm 1,8$ г) и повышалась с дозой, достигая $11,1 \pm 0,6$ г в группе №3, что сопоставимо с контролем ($11,3 \pm 0,5$ г). Массовый коэффициент печени во всех опытных группах составил 3,3–3,4% против 3,6% в контроле, что может указывать на тенденцию к относительному уменьшению печени при введении препарата. Масса почек, сердца и селезенки, а также их МК не имели выраженных дозозависимых изменений и были близки к контрольным значениям.

На 52-е сутки (через 10 дней после отмены) масса тела животных стабилизировалась: 315–332 г, различия между группами минимальны. Абсолютная масса печени в группах №1, №3 и контроле практически одинакова ($10,9$ – $11,1$ г), несколько выше в группе №2 ($11,6 \pm 0,8$ г). Массовый коэффициент печени варьировал от 3,3% до 3,6% без явной зависимости от дозы. Масса почек несколько увеличилась по сравнению с 43-ми сутками во всех группах (до 2,3–2,5 г), что, вероятно, связано с ростом животных, но МК почек сохранился на уровне 0,7–0,8%. Показатели сердца и селезенки оставались стабильными и не отличались от контроля.

Анализ данных таблицы не выявляет токсического воздействия препарата в исследованных дозах на массу тела и массовые коэффициенты внутренних органов крыс как непосредственно после окончания введения, так и в период отставленного наблюдения. Небольшие межгрупповые колебания находятся в пределах естественной биологической вариабельности и не превышают контрольные значения. Отсутствие дозозависимого увеличения масс печени и почек (органов-мишеней при субхронической интоксикации) свидетельствует о хорошей переносимости препарата в данных условиях.

В морфологических показателях крови экспериментальных групп статистически значимых различий с контролем во все сроки не обнаружено. По совокупности результатов морфологических показателей крови, негативное влияние препарата на систему кроветворения не обнаружено (Таблица 2).

Рис. 1. Средние значения массы тела самок крыс групп № 1–4 в период проведения исследования по оценке субхронической токсичности препарата Азитронит® TAB

Fig. 1. Average body weight of female rats in groups No. 1–4 during the study period to assess the subchronic toxicity of the drug Azitronit® TAB.

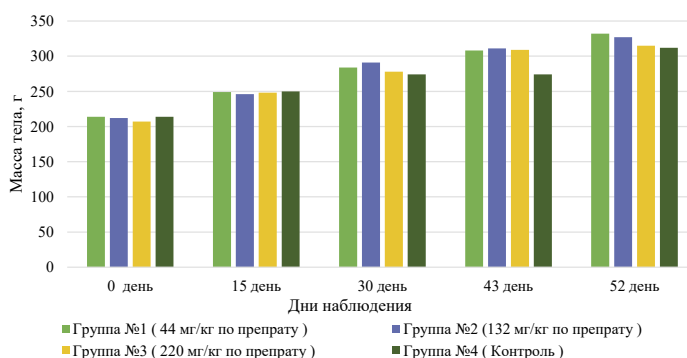


Таблица 1. Массовые коэффициенты внутренних органов крыс при оценке субхронической токсичности препарата, n = 5

Table 1. Organ weight coefficients of internal organs of rats during the evaluation of subchronic toxicity of the drug, n = 5

Параметр	№ группы/ Доза по препарату			
	№1 (44 мг/кг)	№2 (132 мг/кг)	№3 (220 мг/кг)	№4 (контроль)
43 сутки				
Масса животного, г	293 ± 45	306 ± 26	325 ± 22	311 ± 9
Масса печени, г	9,8 ± 1,8	10,4 ± 1,3	11,1 ± 0,6	11,3 ± 0,5
МК печени, %	3,3 ± 0,3	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,6 ± 0,2
Масса почки, г	2,0 ± 0,3	2,1 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,1 ± 0,1
МК почки, %	0,7 ± 0,0	0,7 ± 0,0	0,7 ± 0,0	0,7 ± 0,0
Масса сердца, г	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,4	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1
МК сердца, %	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0
Масса селезенки, г	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,0	0,8 ± 0,1
МК селезенки, %	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0
52 сутки				
Масса животного, г	332 ± 28	327 ± 15	315 ± 5	327 ± 21
Масса печени, г	10,9 ± 0,6	11,6 ± 0,8	11,0 ± 0,6	11,1 ± 0,8
МК печени, %	3,3 ± 0,3	3,6 ± 0,4	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,3
Масса почки, г	2,5 ± 0,3	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,3 ± 0,2
МК почки, %	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Масса сердца, г	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,2	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,0
МК сердца, %	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0
Масса селезенки, г	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,0	0,8 ± 0,1
МК селезенки, %	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0

Биохимический анализ крови (Таблица 3), проведенный через сутки после завершения введения препарата, показал статистически значимое повышение уровня печеночных маркеров — ЩФ (во всех экспериментальных группах), АСТ (повышение в группе № 3) относительно контроля.

Также во всех экспериментальных группах отмечено повышение уровня общего билирубина по сравнению с контролем. Важно отметить статистически значимое повышение среднего уровня глюкозы (относительно контроля) в крови крыс из группы № 3, получавшей препарат в 5-кратной терапевтической дозе — 220 мг/кг по препарату.

Помимо этого, во всех экспериментальных группах отмечается статистически значимое снижение среднего уровня АЛТ и мочевины. В группе № 2, получавшей препарат в 3-х кратной терапевтической дозе 132 мг/кг по препарату, также отмечается

Таблица 2. Результаты клинического анализа крови крыс при оценке субхронической токсичности препарата Азитронит® ТАБ
Table 2. Results of clinical blood analysis of rats during the evaluation of subchronic toxicity of the drug Azitronit® TAB

Параметр	№ группы/ Доза по препарату				Видовая норма ⁷
	№1 (44 мг/кг)	№2 (132 мг/кг)	№3 (220 мг/кг)	№4 (контроль)	
43 сутки					
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	9,48 ± 4,42	8,41 ± 1,71	9,46 ± 2,96	10,72 ± 2,89	2,1–19,5
Лимфоциты, %	66,44 ± 6,11	71,14 ± 5,53	69,22 ± 10,12	71,7 ± 2,98	55,0–97,0
Моноциты, %	4,12 ± 0,67	3,6 ± 0,99	3,22 ± 1,25	3,8 ± 1,63	0,0–5,0
Нейтрофилы, %	29,04 ± 6,28	25,26 ± 4,77	27,18 ± 9,13	24,5 ± 3,93	15,0–34,3
Эритроциты, 10 ¹² /л	9,05 ± 1,03	9,29 ± 1,31	7,94 ± 1,20	8,48 ± 0,81	5,3–10,0
Гемоглобин, г/л	143,2 ± 10,57	140,0 ± 12,81	140,8 ± 10,6x6	141,2 ± 11,43	140,0–180,0
Гематокрит, %	50,93 ± 2,55	48,5 ± 1,96	48,65 ± 6,07	49,33 ± 5,55	35,0–52,0
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	735,2 ± 97,2	633,6 ± 78,5	789,0 ± 133,9	633,6 ± 41,5	500,0–1370,0
52 сутки					
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	10,13 ± 3,63	10,15 ± 3,36	8,33 ± 1,75	8,48 ± 3,26	2,1–19,5
Лимфоциты, %	76,88 ± 2,60	69,32 ± 6,67	75,98 ± 3,88	71,76 ± 3,38	55,0–97,0
Моноциты, %	3,52 ± 0,83	2,84 ± 0,88	3,38 ± 1,72	2,86 ± 1,34	0,0–5,0
Нейтрофилы, %	19,62 ± 2,71	27,86 ± 7,26	20,64 ± 4,51	25,38 ± 3,71	15,0–34,3
Эритроциты, 10 ¹² /л	8,92 ± 0,85	9,41 ± 1,12	9,77 ± 0,98	8,80 ± 0,24	5,3–10,0
Гемоглобин, г/л	148,8 ± 17,46	143,20 ± 12,17	143,4 ± 6,11	145,4 ± 1,67	140,0–180,0
Гематокрит, %	51,07 ± 2,30	51,22 ± 1,47	51,69 ± 2,60	49,28 ± 2,26	35,0–52,0
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	660,6 ± 83,7	667,0 ± 76,2	754,0 ± 159,8	718,6 ± 108,6	500,0–1370,0

Примечание: М ± SD (среднее значение ± стандартное отклонение)

Таблица 3. Результаты биохимического исследования крови крыс (1 сутки после окончания терапии Азитронит® ТАБ).
Table 3. Results of a biochemical blood test of rats (1-st day after the end of therapy with Azitronit® TAB).

Параметр	№ группы / доза по препарату				Видовая норма ⁷
	№1 (44 мг/кг)	№2 (132 мг/кг)	№3 (220 мг/кг)	№4 (контроль)	
АСТ, Ед/л	151,4 ± 14,2	171,1 ± 22,9	184,2 ± 11,2*	154,6 ± 19,5	72,0–196,0
АЛТ, Ед/л	111,6 ± 3,5*#	116,2 ± 2,5#	113,1 ± 2,9*#	120,5 ± 8,0	110,0–140,0
ЩФ, Ед/л	293,8 ± 31,9*#	261,4 ± 38,1*#	297,9 ± 41,8*#	196,8 ± 29,9	187,0–344,0
Билирубин общий, мкмоль/л	1,49 ± 0,08*#	1,49 ± 0,01*#	1,53 ± 0,05*#	1,26 ± 0,05	0,0–1,67
Креатинин, мкмоль/л	75,7 ± 7,4	73,1 ± 1,8*#	76,5 ± 10,7	85,2 ± 10,2	68,0–104,0
Мочевина, мкмоль/л	8,4 ± 0,5*#	8,6 ± 0,3*#	8,6 ± 0,5*	9,2 ± 0,5	8,0–14,0
Общий белок, г/л	96,6 ± 2,5	100,7 ± 3,5	97,5 ± 2,6	98,9 ± 2,8	98,0–108,0
Глюкоза, ммоль/л	6,9 ± 0,8	6,4 ± 0,7	7,7 ± 0,7*	6,6 ± 0,7	3,1–7,9

Примечание: p ≤ 0,05 (* – различия достоверны относительно контроля по t-критерию Стьюдента, # – различия достоверны относительно контроля по f-критерию Фишера)

Таблица 4. Результаты биохимического исследования крови крыс (10 суток после окончания терапии Азитронит® ТАБ)
Table 4. Results of a biochemical blood test of rats (10 days after the end of therapy with Azitronit® TAB).

Параметр	№ группы / доза				Видовая норма ⁷
	№1 (44 мг/кг)	№2 (132 мг/кг)	№3 (220 мг/кг)	№4 (контроль)	
АСТ, Ед/л	143,9 ± 23,3	158,2 ± 30,0	150,2 ± 12,9	156,9 ± 11,2	72,0–196,0
АЛТ, Ед/л	116,4 ± 4,4	114,5 ± 6,9	110,5 ± 5,6*#	116,9 ± 2,9	110,0–140,0
ЩФ, Ед/л	206,8 ± 19,8	228,1 ± 17,1*#	228,1 ± 17,1*#	201,5 ± 24,5	187,0–344,0
Билирубин общий, мкмоль/л	1,33 ± 0,04	1,44 ± 0,03*#	1,48 ± 0,05*#	1,23 ± 0,04	0,0–1,67
Креатинин, мкмоль/л	72,8 ± 3,7	73,2 ± 2,2	76,5 ± 5,1	78,8 ± 10,2	68,0–104,0
Мочевина, мкмоль/л	8,7 ± 0,5	9,6 ± 1,0*#	9,2 ± 0,6	8,7 ± 0,4	8,0–14,0
Общий белок, г/л	99,9 ± 3,2	101,1 ± 4,0	101,14 ± 6,16	98,8 ± 4,1	98,0–108,0
Глюкоза, ммоль/л	7,2 ± 1,3	6,6 ± 0,9	6,0 ± 0,6	6,9 ± 0,3	3,0–7,9

Примечание: p ≤ 0,05 (* – различия достоверны относительно контроля по t-критерию Стьюдента, # – различия достоверны относительно контроля по f-критерию Фишера)

снижение уровня креатинина.

Несмотря на обнаруженные различия в биохимических показателях крови животных экспериментальных групп, оцениваемые значения оставались в пределах физиологической нормы.

Через 10 дней после отмены препарата (Таблица 4) у животных, получавших Азитронит® ТАБ в 5-ти кратной терапевтической дозе, отмечается снижение уровня АЛТ по сравнению с контролем. Тенденция к снижению также отмечена в группах, получавших препарат в терапевтической и 3-х кратной терапевтической дозах, однако различия статистически не достоверны. Уровень АСТ во всех экспериментальных группах значительно снизился, при этом не отличается от контроля и соответствует норме.

В группах № 2 и № 3, получавших препарат в повышенных дозах — 132 и 220 мг/кг по препарату соответственно, сохраняется повышенный уровень билирубина, что косвенно свидетельствует о сохранении сниженной экскреции пигмента из печени в желчь. Кроме того, в группе № 2, получавшей препарат в 3-х кратной терапевтической дозе 132 мг/кг по препарату, отмечается повышение уровня мочевины относительно контроля, что является показателем повышенной нагрузки на мочевыделительную систему, связанной с увеличением процессов выведения антибиотика из организма экспериментальных крыс. В группе № 3, получавший препарат в дозе 220 мг/кг, также отмечается повышение уровня мочевины относительно контроля, однако разница статистически недостоверна. Также в группе № 3 отмечается повышенный, по сравнению с контролем, уровень ЩФ,

⁷ Derelanko M.J., Hollinger M.A. Handbook of toxicology. CRC press; 2001.

однако в численном выражении произошло снижение уровня ЩФ относительно значений, полученных на первый день после отмены введения препарата, что свидетельствует нормализации работы печени. Все вышеперечисленные показатели не покидали границ физиологической нормы. Важно отметить, что биохимические показатели в группе № 1 соответствовали значениям, полученным в контрольной группе, что говорит об обратимости побочных эффектов, вызванных длительным применением препарата, и высокой безопасности лекарственного препарата Азитронит® ТАБ.

Проведенное исследование показало, что 42-дневное пероральное введение препарата Азитронит® ТАБ самкам крыс в терапевтической и повышенных дозах не вызывало гибели животных, клинически значимых изменений массы тела, гематологических показателей и макроскопических изменений внутренних органов. Некропсия не выявила видимых патологических изменений. Массовые коэффициенты печени, почек, сердца и селезенки оставались сопоставимыми с контролем. Полученные данные позволяют исключить прямое органотоксическое действие препарата в испытанном диапазоне доз.

Биохимический анализ крови, выполненный через сутки после последнего введения, выявил статистически значимое повышение активности ЩФ и общего билирубина во всех экспериментальных группах относительно контроля, а также повышение АСТ в группе, получавшей 5-ти кратную терапевтическую дозу (220 мг/кг по препарату), по сравнению с контрольной группой. Повышение уровня глюкозы, также зафиксированное в группе №3, может отражать транзиторную стресс-реакцию на метаболическую нагрузку. Характер и полная обратимость отмеченных выше изменений (нормализация показателей в группе терапевтической дозы к 10-м суткам после последнего введения препарата, снижение выраженности отклонений в группах с повышенными дозами) указывают на их функциональную природу — вероятное гепатоцеллюлярное повреждение отсутствует, а регистрируемые изменения соответствуют возможному транзиторному холестатическому эффекту, типичному для макролидных антибиотиков, включая азитромицин⁸. Снижение активности АЛТ (относительно контроля), установленное через 10 суток после отмены препарата, не сопровождалось повышением АСТ по сравнению с контролем (за исключением группы, получавшей препарат в 5-ти кратной терапевтической дозе) и коррелировало с отсутствием изменений массового коэффициента печени, что позволяет расценивать его как адаптивную метаболическую реакцию гепатоцитов.

Полученные результаты по спектру и обратимости биохимических отклонений согласуются с данными исследований препаратов на основе азитромицина. В некоторых исследованиях использовали инъекционные формы азитромицина. Так, в диссертационной работе Н.И. Тягнибединой (2013) при оценке субхронической токсичности 10% инъекционного раствора азитромицина на белых крысах также зафиксированы транзиторные отклонения биохимических маркеров, не сопровождавшиеся патоморфологическими изменениями печени и почек [19].

Следует отметить, что в настоящем исследовании даже в группе, получавшей пятикратную терапевтическую дозу, биохимические отклонения через 10 дней после отмены либо отсутствовали, либо были минимальными и оставались в границах видовой физиологической нормы.

В исследовании Fotouh и соавт. (2024) при изучении азитромицина на бройлерах птице в течение 7 дней перорально вводили водный раствор азитромицина с помощью зонда. Уровень доз антибиотика составлял от 50 до 200 мг/кг. В ходе исследования было установлено статистически значимое повышение АЛТ и АСТ, сохранявшееся в течение 7 дней, а также гистологически подтвержденные повреждения печени и почек [20]. Отсутствие аналогичных эффектов в данном исследовании может объясняться как видовыми различиями, так и особенностями лекарственной формы — диспергируемые таблетки Азитронит® ТАБ обеспечивают равномерное высвобождение действующего вещества без пиковых концентрационных нагрузок.

Безопасность применения препарата в терапевтической дозе и отсутствие тяжелых побочных эффектов также подтверждено в клинических исследованиях на морских свинках и шиншиллах. Так, в статье Mitchell и соавт. (2026) отмечена высокая эффективность терапии бактериальных инфекций разной этиологии у морских свинок ($n = 101$) и шиншилл ($n = 30$). Животные хорошо переносили курс азитромицина, а нежелательные реакции (преимущественно желудочно-кишечные) были легкими и обратимыми [21].

По совокупности результатов биохимических исследований крови можно предположить обратимую повышенную нагрузку на печень из-за высоких доз препарата, что характерно для многих антибиотиков (в том числе макролидов), особенно на фоне увеличения длительности курса применения.

Выводы/Conclusion

42-х дневное внутрижелудочное введение препарата самкам крыс в диапазоне доз от терапевтической до 5-ти кратной не сопровождалось гибелью животных, клинически значимыми

⁸ Azithromycin. Bethesda LiverTox. LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury. Bethesda (MD): National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases; 2012.

изменениями поведения и макроскопически видимыми повреждениями внутренних органов. На протяжении всего периода наблюдения масса тела и массовые коэффициенты печени, почек, сердца и селезенки не имели статистически значимых отличий от контроля, гематологические показатели оставались в пределах видовой нормы.

Непосредственно после окончания курса введения во всех опытных группах выявлено достоверное повышение активности ЩФ и концентрации общего билирубина, а в группе, получавшей препарат в 5-ти кратной терапевтической дозе,

дополнительно зафиксировано повышение активности АСТ и уровня глюкозы. При этом все отклонения биохимических маркеров не выходили за пределы физиологической нормы для лабораторных крыс и не сопровождалось изменением относительной массы печени. Данные изменения связаны с увеличением метаболической нагрузки на гепатобилиарную систему.

Совокупность полученных данных исключает прямое токсическое действие препарата в испытанных дозах и подтверждает его безопасность при длительном применении в терапевтическом режиме.

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

- Kennedy U., Paterson M.B.A., Magalhaes R.S., Callaghan T., Clark N. A Scoping Review of the Evidence on Prevalence of Feline Upper Respiratory Tract Infections and Associated Risk Factors. *Veterinary Sciences*. 2024; 11(6): 232. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060232>
- Dimopoulou M. *et al.* The epidemiology of upper respiratory tract disorders in a population of insured Swedish dogs (2011–2014), and its association to brachycephaly. *Scientific Reports*. 2023; 13: 8765. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35466-0>
- Bannasch M.J., Foley J.E. Epidemiologic evaluation of multiple respiratory pathogens in cats in animal shelters. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2005; 7(2): 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2004.07.004>
- Thiry E. *et al.* Feline Herpesvirus Infection: ABCD Guidelines on Prevention and Management. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2009; 11(7): 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2009.05.003>
- Maboni G., Seguel M., Lorton A., Berghaus R., Sanchez S. Canine infectious respiratory disease: New insights into the etiology and epidemiology of associated pathogens. *PLoS One*. 2019; 14(4): e0215817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215817>
- Yondo A., Kalantari A.A., Fernandez-Marrero I., McKinney A., Naikare H.K., Velayudhan B.T. Predominance of Canine Parainfluenza Virus and *Mycoplasma* in Canine Infectious Respiratory Disease Complex in Dogs. *Pathogens*. 2023; 12(11): 1356. <https://doi.org/10.3390/pathogens12111356>
- Lappin M.R. *et al.* Antimicrobial use Guidelines for Treatment of Respiratory Tract Disease in Dogs and Cats: Antimicrobial Guidelines Working Group of the International Society for Companion Animal Infectious Diseases. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2017; 31(2): 279–294. <https://doi.org/10.1111/jvim.14627>
- Mochizuki M., Yachi A., Ohshima T., Ohuchi A., Ishida T. Etiologic Study of Upper Respiratory Infections of Household Dogs. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2008; 70(6): 563–569. <https://doi.org/10.1292/jvms.70.563>
- Priestnall S.L., Mitchell J.A., Walker C.A., Erles K., Brownlie J. New and emerging pathogens in canine infectious respiratory disease. *Veterinary Pathology*. 2014; 51(2): 492–504. <https://doi.org/10.1177/0300985813511130>
- Priestnall S., Erles K. *Streptococcus zooepidemicus*: An emerging canine pathogen. *The Veterinary Journal*. 2011; 188(2): 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.04.028>
- De Briyne N., Atkinson J., Borriello S.P., Pokludová L. Antibiotics used most commonly to treat animals in Europe. *Veterinary Record*. 2014; 175(13): 325. <https://doi.org/10.1136/vr.102462>
- Фомина Е.С. Распространение антибиотикорезистентных микроорганизмов в окружающей среде. *Вестник науки*. 2025; (2–2): 914–919. EDN ZZPTRK
- Schwarz S., Loeffler A., Kadlec K. Bacterial resistance to antimicrobial agents and its impact on veterinary and human medicine. Torres S.M.F., Roudebush P. (eds.). *Advances in Veterinary Dermatology*. Wiley. 2017; 8: 95–110. <https://doi.org/10.1002/9781119278368.ch5.1>
- Schwarz S., Chaslus-Dancla E. Use of antimicrobials in veterinary medicine and mechanisms of resistance. *Veterinary Research*. 2001; 32(3–4): 201–225. <https://doi.org/10.1051/vetres:2001120>
- Amsden G.W. Advanced-generation macrolides: tissue-directed antibiotics. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2001; 18(S1): 11–15. [https://doi.org/10.1016/S0924-8579\(01\)00410-1v](https://doi.org/10.1016/S0924-8579(01)00410-1v)
- Зыряннов С.К., Байбулатова Е.А. Использование новых лекарственных форм антибиотиков как путь повышения эффективности и безопасности антибактериальной терапии. *Антибиотики и химиотерапия*. 2019; 64(3–4): 81–91. EDN WRTZGU
- Олсуфьева Е.Н., Янковская В.С. Основные тенденции в создании полусинтетических антибиотиков нового поколения. *Успехи химии*. 2020; 89(3): 339–378. <https://doi.org/10.1070/RCR4892>
- Бирюкова Н.П., Русаков С.В., Напалкова В.В. Общие принципы доклинической оценки безопасности фармакологических лекарственных средств для ветеринарного применения. *Ветеринарный врач*. 2018; (1): 3–9. EDN YSZKJU
- Тягнибедина Н.И. Фармако-токсикологические свойства и терапевтическая эффективность инъекционной формы азитромицина. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М. 2013; 155. EDN SUWVWF

REFERENCES

- Kennedy U., Paterson M.B.A., Magalhaes R.S., Callaghan T., Clark N. A Scoping Review of the Evidence on Prevalence of Feline Upper Respiratory Tract Infections and Associated Risk Factors. *Veterinary Sciences*. 2024; 11(6): 232. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060232>
- Dimopoulou M. *et al.* The epidemiology of upper respiratory tract disorders in a population of insured Swedish dogs (2011–2014), and its association to brachycephaly. *Scientific Reports*. 2023; 13: 8765. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35466-0>
- Bannasch M.J., Foley J.E. Epidemiologic evaluation of multiple respiratory pathogens in cats in animal shelters. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2005; 7(2): 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2004.07.004>
- Thiry E. *et al.* Feline Herpesvirus Infection: ABCD Guidelines on Prevention and Management. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2009; 11(7): 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2009.05.003>
- Maboni G., Seguel M., Lorton A., Berghaus R., Sanchez S. Canine infectious respiratory disease: New insights into the etiology and epidemiology of associated pathogens. *PLoS One*. 2019; 14(4): e0215817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215817>
- Yondo A., Kalantari A.A., Fernandez-Marrero I., McKinney A., Naikare H.K., Velayudhan B.T. Predominance of Canine Parainfluenza Virus and *Mycoplasma* in Canine Infectious Respiratory Disease Complex in Dogs. *Pathogens*. 2023; 12(11): 1356. <https://doi.org/10.3390/pathogens12111356>
- Lappin M.R. *et al.* Antimicrobial use Guidelines for Treatment of Respiratory Tract Disease in Dogs and Cats: Antimicrobial Guidelines Working Group of the International Society for Companion Animal Infectious Diseases. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2017; 31(2): 279–294. <https://doi.org/10.1111/jvim.14627>
- Mochizuki M., Yachi A., Ohshima T., Ohuchi A., Ishida T. Etiologic Study of Upper Respiratory Infections of Household Dogs. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2008; 70(6): 563–569. <https://doi.org/10.1292/jvms.70.563>
- Priestnall S.L., Mitchell J.A., Walker C.A., Erles K., Brownlie J. New and emerging pathogens in canine infectious respiratory disease. *Veterinary Pathology*. 2014; 51(2): 492–504. <https://doi.org/10.1177/0300985813511130>
- Priestnall S., Erles K. *Streptococcus zooepidemicus*: An emerging canine pathogen. *The Veterinary Journal*. 2011; 188(2): 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.04.028>
- De Briyne N., Atkinson J., Borriello S.P., Pokludová L. Antibiotics used most commonly to treat animals in Europe. *Veterinary Record*. 2014; 175(13): 325. <https://doi.org/10.1136/vr.102462>
- Fomina E.S. Spread of antibiotic-resistant microorganisms in the environment. *Vestnik nauki*. 2025; (2–2): 914–919 (in Russian). EDN ZZPTRK
- Schwarz S., Loeffler A., Kadlec K. Bacterial resistance to antimicrobial agents and its impact on veterinary and human medicine. Torres S.M.F., Roudebush P. (eds.). *Advances in Veterinary Dermatology*. Wiley. 2017; 8: 95–110. <https://doi.org/10.1002/9781119278368.ch5.1>
- Schwarz S., Chaslus-Dancla E. Use of antimicrobials in veterinary medicine and mechanisms of resistance. *Veterinary Research*. 2001; 32(3–4): 201–225. <https://doi.org/10.1051/vetres:2001120>
- Amsden G.W. Advanced-generation macrolides: tissue-directed antibiotics. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2001; 18(S1): 11–15. [https://doi.org/10.1016/S0924-8579\(01\)00410-1v](https://doi.org/10.1016/S0924-8579(01)00410-1v)
- Zyryanov S.K., Baibulatova E.A. The use of new dosage forms of antibiotics as a way to improve the effectiveness and safety of antibiotic therapy. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2019; 64(3–4): 81–91 (in Russian). EDN WRTZGU
- Olsufyeva E.N., Yankovskaya V.S. Main trends in the design of semi-synthetic antibiotics of a new generation. *Russian Chemical Reviews*. 2020; 89(3): 339–378. <https://doi.org/10.1070/RCR4892>
- Biryukova N.P., Rusakov S.V., Napalkova V.V. General principles of preclinical safety evaluation of pharmacological drugs for veterinary use. *Veterinary Vrach*. 2018; (1): 3–9 (in Russian). EDN YSZKJU
- Tyagnibedina N.I. Pharmacotoxicological properties and therapeutic efficacy of the injectable form of azithromycin. Cand. in Biology Thesis. Moscow. 2013; 155 (in Russian). EDN SUWVWF

20. Fotouh A., Abdel-Maguid D.S., Abdelhaseib M., Zaki R.S., Darweish M. Pathological and pharmacovigilance monitoring as toxicological imputations of azithromycin and its residues in broilers. *Veterinary World*. 2024; 17(6): 1271–1280. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1271-1280>

21. Mitchell M., Mans C. Retrospective evaluation of orally prescribed azithromycin in Guinea pigs (*Cavia porcellus*) and chinchillas (*Chinchilla lanigera*): 131 cases (2009–2025). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2026; 264(7): 1–4. <https://doi.org/10.2460/javma.25.12.0873>

ОБ АВТОРАХ

Александр Петрович Хороводов^{1, 2}

– старший научный сотрудник по доклиническим исследованиям;

– аспирант

horovodov@nita-farm.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5318-5200>

Ольга Сергеевна Ларионова²

доктор биологических наук, доцент,
директор института ветеринарной медицины и фармации

larionova1@mail.ru

0000-0001-5457-0306

Анна Петровна Семакова¹

кандидат биологических наук, начальник отдела
исследований на лабораторных животных

semakova@nita-farm.ru

Людмила Михайловна Кашковская¹

кандидат ветеринарных наук, руководитель группы по
исследованиям лекарственных форм

kashkovskaya@nita-farm.ru

Марина Игорьевна Сафарова¹

кандидат химических наук, начальник службы НИОКР

safarova@nita-farm.ru

¹ ООО «НИТА-ФАРМ»,

ул. им. Осипова, 1 к. 3, Саратов, 410010, Россия

² Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова,
проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, Саратов,
410012, Россия

20. Fotouh A., Abdel-Maguid D.S., Abdelhaseib M., Zaki R.S., Darweish M. Pathological and pharmacovigilance monitoring as toxicological imputations of azithromycin and its residues in broilers. *Veterinary World*. 2024; 17(6): 1271–1280. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1271-1280>

21. Mitchell M., Mans C. Retrospective evaluation of orally prescribed azithromycin in Guinea pigs (*Cavia porcellus*) and chinchillas (*Chinchilla lanigera*): 131 cases (2009–2025). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2026; 264(7): 1–4. <https://doi.org/10.2460/javma.25.12.0873>

ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr Petrovic Khorovodov

– Senior Researcher for Preclinical Studies;

– Postgraduate student

horovodov@nita-farm.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5318-5200>

Olga Sergeevna Larionova²

Doctor of Biology Sciences, Associate professor, Director
of the Institute of Veterinary Medicine and Pharmacy

larionova1@mail.ru

0000-0001-5457-0306

Anna Petrovna Semakova¹

Candidate of biological sciences, Head of the Department
of Research on laboratory animals

semakova@nita-farm.ru

Ludmila Mikhailovna Kashkovskaya¹

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Group
for Research of Dosage Forms

kashkovskaya@nita-farm.ru

Marina Igor'evna Safarova¹

Candidate of Chemical Sciences, Head of the R & D Service

safarova@nita-farm.ru

¹ LLC «NITA-FARM»,

1/3 Osipov st., Saratov, 410010, Russia

² Vavilov University,

4/3 Peter Stolypin prospekt, 410012, Saratov, Russia

16-18 СЕНТЯБРЯ
2026

35-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

35 АГРОРУСЬ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ», САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

EXPOFORUM

УДК 579.64.083.13:615.015.8

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52

М.В. Калашников^{1,2}¹Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия²ООО «Синтол» Москва, Россия

✉ maxim07092001@gmail.com

Поступила в редакцию: 20.05.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Калашников М.В.

Оценка антагонистической активности и антибиотикочувствительности штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Проблема антибиотикорезистентности в ветеринарной медицине обуславливает необходимость разработки безопасных терапевтических альтернатив, среди которых особое место занимают пробиотические препараты на основе микроорганизмов рода *Bacillus*. Цель настоящей работы — оценка антагонистической активности и профиля чувствительности к антибактериальным препаратам 15 штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров, с последующим отбором перспективных штаммов-кандидатов для создания пробиотической добавки.

Методы. Антагонистическую активность определяли методом перпендикулярных штрихов в отношении 15 тест-культур, включая грамположительные и грамотрицательные бактерии, а также микромицеты и дрожжи. Чувствительность к 17 антибиотикам оценивали дискосифузионным методом с применением иерархического кластерного анализа и ранжирования изолятов по интегральным показателям.

Результаты. Установлена выраженная межштаммовая вариабельность как по антибиотикочувствительности, так и по антагонистической активности. Три штамма (№ 7, № 10 и № 12) продемонстрировали максимальную суммарную чувствительность к антибактериальным препаратам и были отнесены к группе высокочувствительных. Штамм № 10 показал наибольшую интегральную антагонистическую активность (сумма зон задержки роста — 402,7 мм), статистически значимо превосходя остальные изоляты, а также выраженный фунгистатический эффект в отношении *Aspergillus niger* и других плесневых грибов. У штаммов № 8 и № 15 выявлен фенотип множественной лекарственной устойчивости, что послужило основанием для их исключения из числа кандидатов.

На основании комплексного рангового анализа штамм № 10 рекомендован в качестве основного компонента для разработки пробиотического препарата широкого спектра действия. Предложенный подход позволяет объективно дифференцировать штаммы по критериям биобезопасности и функциональной эффективности.

Ключевые слова: *Bacillus mojavensis*, пробиотики, антибиотикочувствительность, дискосифузионный метод, желудочно-кишечный тракт, штаммы-кандидаты, биобезопасность, антибиотикорезистентность

Для цитирования: Калашников М.В. Оценка антагонистической активности и антибиотикочувствительности штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 43–52. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52>

Scientific article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52

Maxim V. Kalashnikov

¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia²Syntol LLC (Moscow, Russia)

✉ maxim07092001@gmail.com

Received by the editorial office: 20.05.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Kalashnikov M.V.

Evaluation of antagonistic activity and antibiotic susceptibility of *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines of broiler chickens

ABSTRACT

Relevance. The growing challenge of antibiotic resistance in veterinary medicine necessitates the development of safe therapeutic alternatives, among which probiotic preparations based on *Bacillus spp.* represent a promising strategy. The aim of this study was to evaluate the antagonistic properties and antibiotic susceptibility profiles of 15 *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines of broiler chickens, and to select candidate strains for a probiotic formulation.

Methods. Antagonistic activity was assessed using the perpendicular streak method against 15 indicator cultures, including Gram-positive and Gram-negative bacteria, as well as micromycetes and yeasts. Susceptibility to 17 antibacterial agents was determined by the disk diffusion method, followed by hierarchical cluster analysis (Ward's method, Euclidean distance) and strain ranking based on integrated parameters.

Results. Substantial inter-strain variability was observed in both antibiotic susceptibility and antagonistic activity. Three strains (No. 7, No. 10, and No. 12) exhibited the highest cumulative susceptibility and were classified as highly susceptible. Strain No. 10 demonstrated the highest integral antagonistic activity (total inhibition zone diameter — 402.7 mm), significantly exceeding the other isolates, along with a pronounced fungistatic effect against *Aspergillus niger* and other filamentous fungi. Strains No. 8 and No. 15 displayed a multidrug-resistant phenotype and were consequently excluded from the candidate pool.

Based on comprehensive ranking analysis, strain No. 10 is recommended as a primary component for the development of a broad-spectrum probiotic preparation. The proposed methodological approach enables objective strain differentiation according to biosafety and functional efficacy criteria.

Key words: *Bacillus mojavensis*, probiotics, antibiotic susceptibility, disk diffusion method, gastrointestinal tract, candidate strains, biosafety, antibiotic resistance

For citation: Kalashnikov M.V. Evaluation of antagonistic activity and antibiotic susceptibility of *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines of broiler chickens. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 43–52 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52>

Введение/Introduction

Проблема антибиотикорезистентности представляет собой значимый вызов для ветеринарной медицины, охватывающей как популяции сельскохозяйственных, так и мелких домашних животных. Особую остроту данный вопрос приобретает в контексте применения не только лекарственных, но и кормовых антибиотиков, что обуславливает необходимость пересмотра существующих терапевтических протоколов [1–4].

Актуальным направлением современной ветеринарной фармакологии при выращивании сельскохозяйственных животных и птицы является разработка пробиотических препаратов, выполняющих функции эффективной альтернативы антибиотикам в профилактике и терапии заболеваний животных [5–7].

В производстве пробиотиков для ветеринарной медицины преимущественное распространение получили штаммы транзитной микрофлоры, принадлежащие к роду *Bacillus* spp. Особого внимания заслуживают виды *B. subtilis*, *B. pumilus* и *B. licheniformis*, которые продуцируют широкий спектр бактерицидных соединений и характеризуются высокой метаболической активностью, выраженным антимикробным потенциалом и значительной биоактивностью [8–13]. Эффективность применения пробиотических препаратов в птицеводстве проявляется в улучшении сохранности поголовья, повышении среднесуточных привесов и нормализации микробиоценоза кишечника [14–16].

Помимо бактериальной составляющей, серьезную проблему представляет грибковая контаминация кормов и объектов окружающей среды, ассоциированная с продукцией микотоксинов — вторичных метаболитов плесневых грибов. Данные соединения оказывают выраженное иммуносупрессивное и токсическое действие на организм животных, снижая естественную резистентность, угнетая гемопоэз и поражая паренхиматозные органы, что, в конечном итоге, может привести к снижению продуктивности и повышению восприимчивости к вторичным инфекциям [17–20].

Согласно данным ряда авторов, микроорганизмы вида *Bacillus mojavensis* обладают рядом свойств, характерных для пробиотических штаммов, включая синтез антимикробных метаболитов, устойчивость к факторам желудочно-кишечного тракта и безопасность для макроорганизма, что позволяет рассматривать данный вид бактерий

в качестве перспективного кандидата для разработки пробиотической добавки [18–21].

В исследованиях некоторых ученых показано, что *Bacillus mojavensis* обладает антагонистической активностью в отношении микромицетов и способен ингибировать рост и развитие грибковой микрофлоры [22–24].

Микроорганизмы вида *Bacillus mojavensis* широко распространены в окружающей среде, характеризуются биологической безопасностью и экологической пластичностью. Они вносят значительный вклад в биологический контроль грибковых заболеваний растений. Данный микроорганизм устойчив к факторам внешней среды, засухоустойчив, проявляет толерантность к 5% NaCl и способен выживать при осмотическом давлении до -2,2 МПа [25, 26].

В соответствии с руководящими документами EFSA¹ и нормативными актами РФ^{2–4}, одним из обязательных требований к штаммам-пробиотам является наличие изученного профиля антибиотикорезистентности в отношении антибактериальных препаратов, применяемых в современной медицине, а также способность проявлять антагонистическую активность в отношении патогенных микроорганизмов [27]. Разработка и внедрение инновационных стратегий повышения безопасности мясной продукции, включая использование новых методов микробиологического контроля и природных антимикробных агентов, являются приоритетными задачами современной пищевой промышленности [28, 29].

Для повышения точности и сокращения сроков детекции патогенов в пищевом сырье разрабатываются комбинированные подходы, в частности, сочетание метода наиболее вероятного числа и ПЦР-анализа [30].

Цель работы — дифференцировать 15 изолятов *Bacillus mojavensis* из кишечника цыплят-бройлеров по антагонистической активности и профилю антибиотикочувствительности с последующим отбором штаммов-кандидатов для ветеринарного пробиотика.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводили на базе бактериологической лаборатории ООО НИЦ «Черкизово» (Москва, Россия)⁵.

Объектом исследования служили транзитные микроорганизмы рода *Bacillus*, выделенные

¹ Guidance on the characterisation of microorganisms in support of the risk assessment of products used in the food chain. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2025.9705>

² МУК 4.2.2602-10. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Система предрегистрационного доклинического изучения безопасности препаратов. Отбор, проверка и хранение производственных штаммов, используемых при производстве пробиотиков. Методические указания" (утв. Роспотребнадзором 21.04.2010)

³ ГОСТ Р 53913-2010 (ISO 16654:2001) Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Горизонтальный метод обнаружения *Escherichia coli* O157

⁴ МУ 2.3.2.2789-10 Продовольственное сырье и пищевые продукты. Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов" (утв. Роспотребнадзором 06.12.2010)

⁵ ООО НИЦ «Черкизово» (г. Москва) осуществляет свою деятельность на основании лицензии №77.01.13.001.Л.000021.06.16 от 08.06.2016г и аттестата аккредитации №ААС.А.00281 от 04.04.2025г.

из тонкого отдела кишечника цыплят-бройлеров, выращенных на специальных площадках холдинга «Черкизово», получены были после производственного убоя.

Выделение микроорганизмов рода *Bacillus mojavensis* проводили из 50 образцов кишечника цыплят бройлеров на момент убоя в возраст 42 дня. Цыплята-бройлеры без клинических признаков заболеваний, с нормальной конверсией корма и весом в пределах нормы. Для поиска штамма претендента в пробиотическую добавку было выделено и изучено 15 штаммов *Bacillus mojavensis*.

Для наращивания бактериальной массы использовали жидкие питательные среды — забуференную пептонную воду (BPV, «Биомерье», Франция), выбор которой обусловлен ее высокой буферной емкостью, а также универсальностью пептонного состава, обеспечивающего активное накопление биомассы как вегетативных, так и споровых форм бацилл без использования селективных добавок. Изоляцию штаммов и выделение чистой культуры проводили на триптиказо-соевом агаре (TCA, производство Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Россия). Посевы инкубировали при температуре +37 °C, учет посевов осуществляли в течение 24–72 ч.

Первоначальная таксономическая идентификация изолятов проводилась методом масс-спектрометрии с матрично-ассистированной лазерной десорбцией/ионизацией и времяпролетным анализом (MALDI-TOF MS) на платформе MICROFLEX LT (Bruker Daltonik). Идентификация выполнялась в соответствии с методом прямого нанесения, описанным производителем. Спектры сравнивались с базой данных BDAL v.10 в программном обеспечении Biotyper 3.1 (Bruker Daltonik)⁶ [31].

Антагонистическую активность изучали методом перпендикулярных штрихов^{7, 8} [22]. Взвесь испытуемой культуры, в концентрации не менее 10⁷ КОЕ/см³ высевали штрихом по диаметру чашки Петри на среду TCA. Через 24 ч инкубации перпендикулярно к контрольному штамму штрихами высевали музейные и полевые культуры микроорганизмов. Для изучения антагонистической активности использовали музейные штаммы *Escherichia coli* (ATCC

25922 DSM 1103), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853 DSM 1117), *Enterococcus faecalis* (ATCC 19433 NCTC 775), *Salmonella enteritidis* (ATCC 11272), *Listeria monocytogenes* (ATCC 13932 NCTC 10527), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028). Также для оценки специфичности были использованы полевые штаммы *Bacillus licheniformis*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Epicoccum nigrum*, *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium commune*, *Phoma herbarum*.

Изучение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам проводили дискодиффузионным методом⁹ на агаре Мюллера-Хинтона (производства НИЦФ, Санкт-Петербург, Россия) [32]. С этой целью использовали диски, содержащие 17 антибиотиков (НИЦФ, Санкт-Петербург, Россия) — ампициллин (10 мкг), амоксициллин (20 мкг), бензилпенициллин (10 ЕД), гентамицин (10 мкг), колистин (300 ЕД), тетрациклин (30 мкг), тиамулин (30 мкг), тилмикозин (15 мкг), флорфеникол (30 мкг), цефтиофур (30 мкг) энрофлоксацин (5 мкг), доксициклин (30 мкг), левофлоксацин (5 мкг), линкомицин (15 мкг), тилозин (30 мкг), триметоприм и сульфаметоксазол (1,25 мкг / 23,75 мкг), ципрофлоксацин (5 мкг). Для засева использовали концентрацию штамма равную стандарту мутности 0,5 МакФарланда. Штаммы *B. mojavensis* относили к одной из трех категорий: чувствительные (S-susceptible), умеренно-резистентные (I-susceptible, increased exposure) или резистентные (R-resistant) к анти-бактериальному препарату, — в соответствии с числовым значением диаметра зоны задержки роста. Интерпретация диаметров зон задержки роста проведена в соответствии с документом EUCAST v.16.0 (2026) к *Bacillus spp.*¹⁰ [33], учитывая, что тут описаны брейпоинты только к четырем антибиотикам из списка, было сделано ранжирование штаммов по зонам задержки.

Обработка данных и построение дендрограмм иерархической кластеризации были проведены в программе RStudio. Статистический анализ проводился в программе Excel (США). Для определения значимых различий между средними значениями использовался однофакторный дисперсионный анализ ANOVA при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

⁶ Идентификация микроорганизмов с применением масс-спектрометра icroflex MALDI Biotyper при исследовании продовольственного сырья и пищевых продуктов: Методические указания. – М.: Центральная научно-методическая ветеринарная лаборатория, 2011 г. – 20 стр

⁷ МУ 2.3.2.2789-10 Продовольственное сырье и пищевые продукты. Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов (утв. Роспотребнадзором 06.12.2010). ⁸ Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов: МУ 2.3.2.2789-10. М.; 2011. Guidelines on sanitary and epidemiological assessment of safety and functional potential of probiotic microorganisms used for food production: МУ 2.3.2.2789-10. М.; 2011. (In Russ.)

⁹ МУК 4.2.2602-10. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Система предрегистрационного доклинического изучения безопасности препаратов. Отбор, проверка и хранение производственных штаммов, используемых при производстве пробиотиков. Методические указания (утв. Роспотребнадзором 21.04.2010)

¹⁰ МУК 4.2.1890-04 Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания.

¹⁰ "EUCAST Breakpoint Tables: Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters, Version 16.0 (valid from 2026-01-01)" <https://www.eucast.org/bacteria/clinical-breakpoints-and-interpretation/clinical-breakpoint-tables/>

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Согласно результатам проведенных исследований, был определен фенотипический профиль чувствительности/резистентности штаммов *Bacillus mojavensis* к основным антимикробным препаратам. Выявлено, что бактерии вида *B. mojavensis* демонстрируют следующие особенности. Большинство выделенных штаммов проявили высокую чувствительность к фторхинолонам (левофлоксацин, цiproфлоксацин, энрофлоксацин) и группе тетрациклинов (тетрациклин, доксициклин). У многих штаммов *B. mojavensis* наблюдалась слабая чувствительность или полная устойчивость к бета-лактамам антибиотикам (бензилпенициллину, ампициллину), что, по-видимому, связано с естественной выработкой хромосомных бета-лактамаз¹¹ [26]. Также наблюдалась устойчивость к колистину в связи с отсутствием у клеток *B. mojavensis* наружных мембран с ЛПС, на которые действуют полимиксины и линкомицину, по-видимому, с природно распространенными генами *vmIR* (ABC-транспортёр-эффлюкс) у *Bacillus spp.* [34].

Наблюдался феномен формирования полярных фенотипов внутри изучаемых штаммов. С одной стороны, штаммы №7, №10 и №12 сохраняли чувствительность к ингибиторам ДНК-гиразы и топоизомеразы IV — левофлоксацину и цiproфлоксацину. Это может свидетельствовать об отсутствии у данных штаммов мутаций, ассоциированных с устойчивостью к фторхинолонам, в генах, кодирующих соответствующие белки-мишени, а также о достаточной доступности антибактериальных препаратов для бактериальных клеток. Использование молекулярных маркеров, в частности гена *gyrB*, является эффективным подходом для детекции микроорганизмов и выявления генетических детерминант резистентности [35]. С другой стороны, полученные результаты указывают на наличие в исследуемой популяции штаммов со сниженной чувствительностью к отдельным антибиотикам. Так, у штамма №15 отмечалось практически полное отсутствие зоны задержки роста, вокруг диска с гентамицином ее диаметр составлял 8 мм, также снижение чувствительности к фторхинолонам по сравнению со средними значениями для исследуемой популяции.

Таблица. 1 Динамика зон задержки роста в мм, для штаммов *B. mojavensis* (n = 15)

Table 1. Dynamics of growth inhibition zones in mm for *B. mojavensis* strains (n = 15)

Антибиотик (содержание диска)	Диаметр зоны задержки роста <i>B. mojavensis</i> (мм) по штаммам														
	Ш 1	Ш 2	Ш 3	Ш 4	Ш 5	Ш 6	Ш 7	Ш 8	Ш 9	Ш 10	Ш 11	Ш 12	Ш 13	Ш 14	Ш 15
Пенициллины															
Ампициллин	24	22	25	23	21	24	26	20	22	25	23	21	24	22	20
Амоксициллин	26	24	27	25	23	26	28	22	24	27	25	23	26	24	22
Бензилпеницил-лин	22	20	23	21	19	22	24	18	20	23	21	19	22	20	18
Аминогликозиды															
Гентамицин	18	20	19	21	17	18	42	16	18	48	20	45	18	16	8
Полимиксины															
Колистин	14	13	15	12	14	13	16	11	13	14	12	13	15	11	10
Тетрациклины															
Тетрациклин	28	30	29	31	27	28	30	26	28	29	30	27	28	26	18
Доксициклин	27	29	28	30	26	27	29	25	27	28	29	26	27	25	16
Плевомугилины															
Тиамулин	20	18	21	19	17	20	22	16	18	21	19	17	20	18	15
Макролиды															
Тилмикозин	19	17	20	18	16	19	25	15	17	24	18	26	19	17	14
Тилозин	18	16	19	17	15	18	20	14	16	19	17	15	18	16	14
Фениколы															
Флорфеникол	24	22	25	23	21	24	26	20	22	25	23	21	24	22	20
Цефалоспорины															
Цефтиофур	21	19	22	20	18	21	23	17	19	22	20	18	21	19	17
Фторхинолоны															
Энрофлоксацин	28	26	29	27	25	28	30	24	26	29	27	25	28	26	24
Цiproфлокса-цин	29	27	30	28	26	29	53	25	27	51	28	52	29	27	28
Левофлоксацин	30	28	31	29	27	30	55	26	28	52	29	50	30	28	29
Линкозамиды															
Линкомицин	16	14	17	15	13	16	18	12	14	19	15	20	16	14	12
Сульфаниламиды + диаминопиримидины															
TMP/SMX	20	18	21	19	17	20	22	16	18	21	19	17	20	18	16
M ± SD (мм)	22,6 ± 4,9	21,4 ± 5,3	23,6 ± 4,9	22,2 ± 5,5	20,1 ± 4,8	22,5 ± 5,0	28,8 ± 11,1	19,0 ± 4,9	21,0 ± 4,9	28,1 ± 11,3	22,1 ± 5,3	25,6 ± 11,9	22,6 ± 4,8	20,5 ± 5,0	17,7 ± 5,8
Σ зон задержки по штамму	384	363	401	378	342	383	489	323	357	477	375	435	385	349	301
Ранг штамма	6	10	4	8	13	7	1	14	11	2	9	3	5	12	15

Примечание: M — среднее арифметическое; SD — стандартное отклонение; Σ — сумма диаметров зон задержки роста; ранг 1 = наибольшая активность. Цветовая шкала: красный → желтый → зелёный соответствует возрастанию диаметра зоны задержки роста (мм).

¹¹ KEGG PATHWAY: beta-Lactam resistance — *Bacillus mojavensis* (bmoj01501). Available at: <https://www.kegg.jp/pathway/bmoj01501> (accessed 07.02.2026).

Это указывает на вероятное наличие у данного изолята сочетанных механизмов резистентности — это могут быть как модификация мишеней действия антибиотика, так и активный эффлюкс (системы выкачивания препарата из клетки), связанный с наличием *bla*, *tet*, *aac* и *aph* генов устойчивости.

На основании суммарных диаметров зон задержки роста к 17 антимикробным агентам было проведено ранжирование изолятов на группы по степени их чувствительности.

Распределение штаммов позволило четко дифференцировать их на три обособленные группы:

1. Высокочувствительные изоляты (Ранги 1–3: Штаммы №7, №10, №12). Данная группа характеризуется максимальными показателями задержки роста, при этом средний диаметр зон находился в пределах 25,59–28,76 мм. Фенотипической особенностью штаммов №7 и №10 явилась локальная гиперчувствительность к фторхинолонам (зоны задержки до 51–55 мм) и гентамицину (42–48 мм).

2. Умеренно чувствительные изоляты (Ранги 4–9: Штаммы №3, №13, №1, №6, №4, №11). Средний диаметр зон для данных микроорганизмов колебался в узком терапевтическом коридоре от 22,06 до 23,59 мм, демонстрируя классический ответ дикого типа без экстремальных отклонений.

3. Резистентные и полирезистентные изоляты (Ранги 10–15). Наибольший научно-практический интерес вызывают штаммы №8 и №15 (14-й и 15-й ранги соответственно), показавшие выраженную устойчивость. Средний диаметр зон задержки у штамма №15 составил всего 17,71 мм. Данный изолят проявил признаки множественной резистентности, продемонстрировав критическое снижение чувствительности к аминогликозидам (зона к гентамицину — всего 8 мм), тетрациклинам (тетрациклин — 18 мм, доксициклин — 16 мм) и полимиксидам (колистин — 10 мм)».

Таблица 2. Интерпретация рангов штаммов *B. mojavensis* (n = 15)

Table 2. Interpretation of the ranks of *B. mojavensis* strains (n = 15)

Группа	Штаммы	Характеристика
Высокочувствительные	№7, №10, №12	Средний диаметр > 25 мм
Умеренно чувствительные	№3, №13, №1, №6, №4, №11, №2, №9	Средний диаметр 21–24 мм
Низкочувствительные	№14, №5, №8, №15	Средний диаметр < 21 мм

Таким образом, исследованные штаммы были расположены в следующем порядке по убыванию антибиотикочувствительности: №7 > №10 > №12 > №3 > №13 > №1 > №6 > №4 > №11 > №2 > №9 > №14 > №5 > №8 > №15. Полученные данные свидетельствуют о неоднородности популяции исследованных микроорганизмов по признаку чувствительности к антибиотикам и позволяют выделить группы высокочувствительных, умеренно чувствительных и относительно устойчивых штаммов.

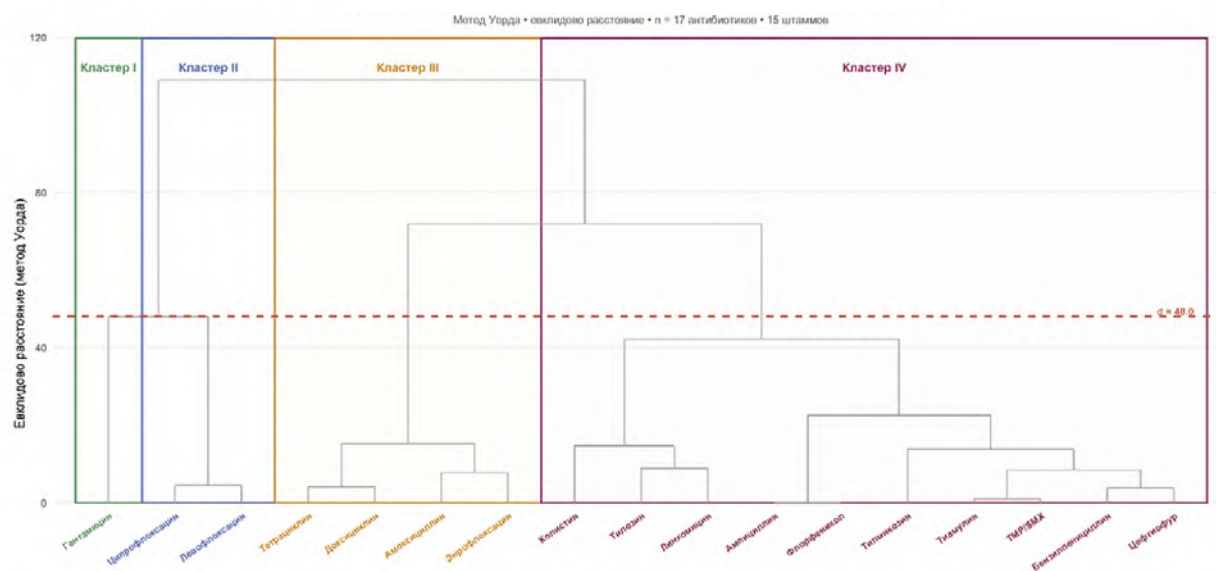
Для выявления сходства профилей антибиотикочувствительности исследованных штаммов был выполнен иерархический кластерный анализ методом Уорда с использованием евклидова расстояния. Результаты представлены в виде дендрограммы на рисунке 1.

Анализ позволил разделить исследуемые изоляты на несколько кластеров, характеризующихся сходным профилем чувствительности к антибактериальным препаратам. Копенетический коэффициент корреляции $r = 0,838$ подтверждает хорошее соответствие дендрограммы исходной матрицы расстояний.

При разбиении дендрограмм на четыре кластера ($k = 4$) были выделены следующие группы.

Кластер I обособил гентамицин — единственный аминогликозид в концевой группе, который не сочетался ни с одним другим препаратом.

Рис. 1. Дендрограмма кластеризации антибиотиков по профилю зон задержки роста — метод Уорда, евклидово расстояние
Fig. 1. Dendrogram of antibiotic clustering by growth inhibition zone profile — Ward's method, Euclidean distance



Большая высота слияния ($d \approx 109$) указывает на уникальный, не дублирующийся с другими классами профиль чувствительности штаммов к данному антибиотику.

Кластер II содержит два фторхинолона — левофлоксацин и цiproфлоксацин (высота слияния $d \approx 8$), что отражает их близкие фармакодинамические профили и практически идентичную активность в отношении исследуемых штаммов. Оба препарата вызывают максимальные диаметры зоны задержки роста.

Кластер III включает тетрациклин, доксициклин, амоксициллин и энрофлоксацин ($d \approx 15-70$) — групповые препараты со средневысокой активностью и умеренной внутригрупповой вариабельностью по отношению к исследуемым штаммам.

Кластер IV включает десять антибиотиков: колистин, линкомицин, тилозин, ампициллин, флорфеникол, тилмикозин, тиамулин, триметоприм/сульфаметоксазол, бензилпенициллин и цефтиофур (внутрикластерные слияния на высоте $d < 45$). Объединение в один кластер колистина и линкомицина — препаратов с механизмами резистентности *Bacillus spp.* (отсутствие мишени в колистина и эффлюкс-белок VmIR для линкомицина) — с β -лактамами (ампициллин, бензилпенициллин, цефтиофур), также характеризуется сниженной активностью по продукции β -лактамаз. Это статистически подтвержденное фенотипическое сходство характеризует уникальную устойчивость рода *B. mojavensis* к данным классам антибиотиков.

Высокое расстояние высоты слияния ($d \approx 109$) между кластером II (гентамицин) и всей частью дендрограммы свидетельствует о выраженной обособленности профиля чувствительности к аминогликозидам от остальных протестированных классов антибиотиков.

Фторхинолоны II и III поколений (левофлоксацин, цiproфлоксацин, энрофлоксацин) занимают лидирующие позиции в ранговом распределении (ранги 1, 2 и 4 соответственно). Стоит отметить, что у отдельных изолятов (штаммы №7, №10 и №12) зоны задержки роста к левофлоксацину и цiproфлоксацину достигали экстремальных значений (от 50 до 55 мм), что указывает на их высокую бактерицидную активность в отношении данной популяции микроорганизмов.

Тетрациклины (тетрациклин и доксициклин) прочно закрепились в верхней трети рейтинга (3-й и 5-й ранги), что свидетельствует о сохранении терапевтического потенциала данной группы, несмотря на риски распространения плазмидной резистентности.

Противоположная тенденция наблюдается для полимиксинов (колистин, средняя зона — 13,07 мм) и линкозамидов (линкомицин, средняя зона — 15,40 мм). Минимальные зоны задержки роста у данных антибиотиков позволяют предположить наличие у исследуемых штаммов механизмов природной или приобретенной устойчивости к указанным классам соединений, что делает нецелесообразным их выбор в качестве препаратов терапии от этих микроорганизмов.

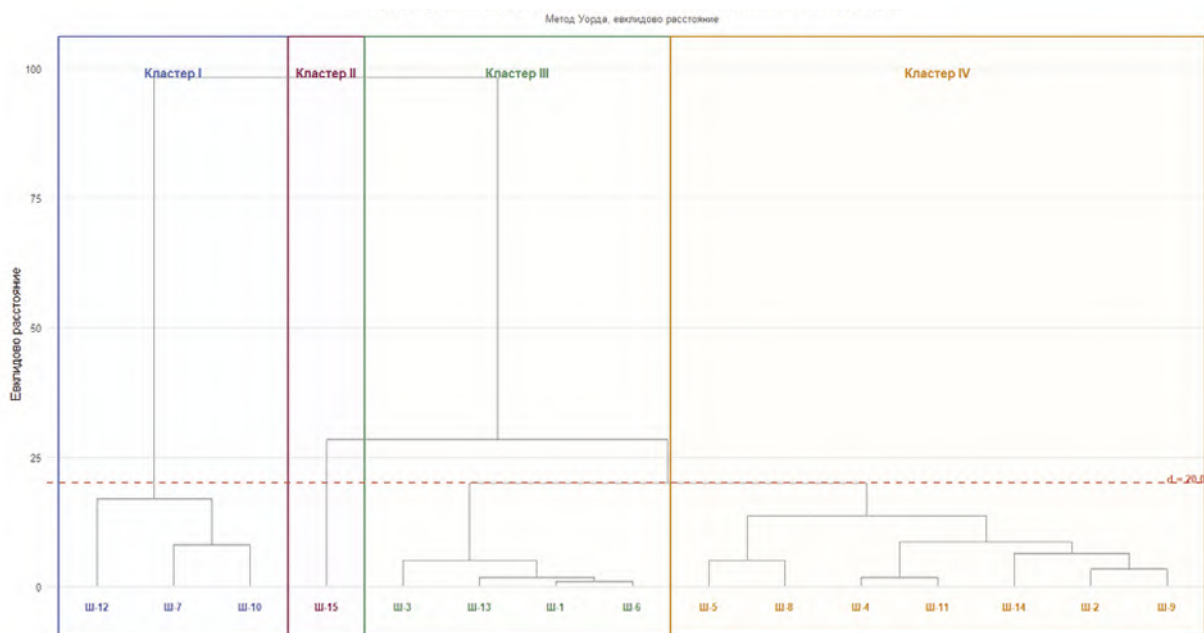
Методом Уорда была произведена кластеризация изучаемых штаммов. Данные кластеризации представлены на рисунке 2.

Штаммы, объединенные в один кластер, демонстрировали близкие значения зон задержки роста для большинства исследованных антибиотиков, тогда как расстояние между кластерами отражало степень различий в их антибиотикочувствительности.

Структура кластеризации показывает высокий копенетический коэффициент корреляции

Рис. 2. Дендрограмма иерархической кластеризации штаммов *B. mojavensis*.

Fig. 2. Dendrogram of hierarchical clustering of *B. mojavensis* strains.



$r = 0,972$, что свидетельствует об отличном соответствии исходных евклидовых расстояний и расстояний, отраженных в дендрограмме.

Результаты кластеризации ($k = 4$, метод Уорда):

Кластер I — Ш-7, Ш-10, Ш-12: штаммы с наибольшей суммарной чувствительностью к антибиотикам, в том числе аномально нестабильными зонами к фторхинолонам (50–55 мм) и гентамицину (42–48 мм). Все три — штаммы-кандидаты в пробиотический препарат.

Кластер II — Ш-15: обособленный штамм с наименьшей суммарной чувствительностью ($\Sigma = 301$ мм) и атипичным профилем (минимальная зона к гентамицину — 8 мм).

Кластер III — Ш-1, Ш-3, Ш-6, Ш-13: умеренная и высокая равномерная чувствительность (22,5–23,6 мм). Характеризующиеся наиболее однородными по профилю среди всех четырех групп (минимальные высоты внутригрупповых слияний, $d < 10$).

Кластер IV — Ш-2, Ш-4, Ш-5, Ш-8, Ш-9, Ш-11, Ш-14: наиболее представительная группа, включающая штаммы с умеренно сниженной

чувствительностью к большинству препаратов. (19,0–21,4 мм).

Была проведена сравнительная оценка антагонистической активности 15 штаммов *B. mojavensis* в отношении 15 индикаторных тест-культур. Данные представлены в таблице 3.

Распределение по уровню антагонистической активности. На основании шкалы оценки (S — высокая, ≥ 25 мм; I — умеренная, 15–24 мм; R — слабая, < 15 мм) установлено, что наибольшей интегральной активностью обладают штаммы Ш-10 ($\Sigma = 402,7$ мм; средний диаметр $26,9 \pm 6,2$ мм) и Ш-12 ($\Sigma = 389,4$ мм; $26,0 \pm 6,2$ мм), демонстрируя стабильно высокие зоны задержки в отношении большинства тест-культур. Штаммы Ш-7 ($\Sigma = 369,6$ мм; $24,6 \pm 6,0$ мм) и Ш-3 ($\Sigma = 342,7$ мм; $22,9 \pm 6,0$ мм) также показали высокие суммарные показатели, хотя по отдельным культурам их активность варьировала от высокой до умеренной. Важно отметить, что все исследуемые штаммы *Bacillus mojavensis* проявляли антагонизм в отношении тест-культур микромицетов (*A.niger*, *E.nigrum*, *A.pullulans*, *P.commune*, *Ph. herbarum*)

Таблица 3. Антагонистическая активность штаммов *B. mojavensis* в отношении индикаторных тест-культур

Table 3. Antagonistic activity of *B. mojavensis* strains in relation to indicator test cultures

Индикаторный штамм	Ш 10	Ш 12	Ш 7	Ш 3	Ш 13	Ш 4	Ш 6	Ш 1	Ш 5	Ш 2	Ш 15	Ш 14	Ш 11	Ш 8	Ш 9
	Ранг 1	Ранг 2	Ранг 3	Ранг 4	Ранг 5	Ранг 6	Ранг 7	Ранг 8	Ранг 9	Ранг 10	Ранг 11	Ранг 12	Ранг 13	Ранг 14	Ранг 15
Бактериальные тест-культуры															
<i>E. coli</i>	27,0±1,0	31,3±6,0	30,3±1,5	16,7±1,5	29,3±1,2	18,7±1,2	29,3±0,6	19,7±1,5	29,7±2,1	21,7±2,5	23,7±1,5	24,0±1,0	24,3±2,1	23,7±1,2	30,3±1,0
<i>S. aureus</i>	33,0±1,0	29,0±1,0	30,0±1,7	27,0±1,0	25,7±0,6	22,7±0,6	21,3±0,6	19,7±0,6	17,0±1,7	15,3±1,5	15,3±3,1	12,3±0,6	11,0±0,0	10,7±1,2	10,0±0,0
<i>P. aeruginosa</i>	26,3±1,5	24,3±0,6	24,3±1,2	24,3±1,2	22,3±2,9	22,0±0,0	20,7±2,1	21,3±0,6	18,3±0,6	22,0±4,4	16,7±1,2	17,7±3,1	16,0±1,0	16,3±3,2	14,7±0,6
<i>E. faecalis</i>	31,0±2,0	30,7±1,5	28,0±1,0	28,0±0,0	26,7±1,2	26,7±0,6	24,7±1,2	22,7±1,5	23,0±0,0	23,0±1,0	21,7±1,5	20,0±1,0	19,3±2,1	18,3±0,6	18,0±2,0
<i>S. enteritidis</i>	29,0±1,7	28,3±1,2	25,7±2,1	25,7±1,5	24,0±1,0	23,0±0,0	21,0±0,0	22,0±2,0	21,0±1,0	23,0±1,0	18,7±1,2	17,0±1,0	16,7±0,6	15,0±1,0	13,7±1,5
<i>L. monocytogenes</i>	33,0±0,0	32,7±0,6	30,7±1,5	28,0±1,0	28,7±1,2	25,3±1,5	26,3±0,6	23,3±2,3	25,0±1,0	23,3±2,5	21,3±1,5	18,7±0,6	20,0±1,7	17,7±1,5	18,0±2,0
<i>B. subtilis</i>	33,7±1,5	32,3±1,5	30,3±1,5	29,3±1,2	29,7±1,5	29,0±1,7	26,3±1,2	28,3±1,2	25,3±0,6	22,7±3,1	23,7±2,1	21,3±2,5	21,3±1,2	19,0±2,0	21,0±1,7
<i>B. licheniformis</i>	16,7±0,6	14,7±0,6	14,7±0,6	12,0±3,6	11,7±0,6	12,3±0,6	10,0±1,7	11,7±0,6	10,3±0,6	9,3±1,2	7,3±0,6	5,7±0,6	7,0±1,0	6,0±0,0	5,0±1,0
<i>S. typhimurium</i>	17,0±0,0	15,7±1,5	14,7±1,2	17,0±0,0	12,3±2,3	13,7±2,5	14,3±1,5	10,3±0,6	12,3±1,5	9,3±1,2	8,3±1,2	6,7±1,5	8,3±2,1	5,7±0,6	6,3±0,6
Грибковые тест-культуры															
<i>C. albicans</i>	19,0±1,0	19,0±1,7	16,3±1,2	15,3±1,5	13,7±1,5	15,3±1,2	14,0±1,0	13,3±1,5	12,3±2,5	11,0±1,0	9,7±0,6	9,0±1,0	8,3±1,5	7,0±1,0	7,3±0,6
<i>Aspergillus niger</i>	37,3±1,2	34,7±3,1	33,3±0,6	33,7±0,6	35,0±1,0	31,3±1,2	31,3±1,2	29,0±1,0	29,7±2,1	27,7±1,2	26,7±0,6	26,7±2,5	25,3±0,6	23,7±1,2	22,0±2,0
<i>Epicroccum nigrum</i>	25,7±0,6	25,3±0,6	24,3±0,6	21,3±1,5	21,3±0,6	19,3±0,6	19,7±1,2	18,7±2,1	18,7±1,5	17,0±1,0	17,0±1,0	13,0±0,0	13,0±2,6	11,7±1,5	11,7±0,6
<i>Aureobasidium pullulans</i>	23,7±1,5	21,7±3,1	20,7±1,2	21,0±1,7	20,0±1,0	19,3±1,5	18,7±1,5	18,7±1,2	17,0±0,0	14,0±0,0	13,7±0,6	12,3±1,5	11,7±1,5	11,7±1,5	13,3±1,5
<i>Penicillium commune</i>	25,3±1,5	25,0±1,7	24,0±2,0	22,7±0,6	22,3±1,5	22,0±2,0	20,3±3,1	18,3±0,6	17,0±1,0	17,3±2,1	16,7±1,5	14,7±1,2	14,3±1,2	14,7±1,2	13,7±1,5
<i>Phoma herbarum</i>	25,0±1,0	24,7±1,5	22,3±0,6	20,7±1,2	20,7±2,3	19,7±1,5	20,7±2,1	15,7±1,5	16,7±2,3	18,0±1,0	15,3±0,6	14,0±1,0	13,3±1,5	12,7±1,5	12,0±1,0
Σ зон задержки (мм)	402,7	389,4	369,6	342,7	343,4	320,3	318,6	292,7	293,3	274,6	255,8	233,1	229,8	213,9	217,0
$M \pm SD$ (мм)	26,9±6,2	26,0±6,2	24,6±6,0	22,9±6,0	22,9±6,7	21,4±5,4	21,2±5,8	19,5±5,4	19,6±6,0	18,3±5,7	17,1±5,8	15,5±6,1	15,3±5,8	14,3±5,7	14,5±6,7

Примечание: Зеленый цвет — высокая антагонистическая активность (≥ 25 мм); желтый цвет — умеренная антагонистическая активность (15 — 25 мм); розовый цвет — слабая антагонистическая активность (< 15 мм);

и дрожжей *C.albicans*. Наибольшие зоны задержки в отношении плесневых грибов зафиксированы у штаммов Ш-10 ($37,3 \pm 1,2$ мм против *A.niger*) и Ш-12 ($34,7 \pm 3,1$ мм), что подтверждает фунгистатический потенциал данных пробиотических кандидатов. В результате скрининга 15 штаммов *Bacillus mojavensis* установлено, что максимальной антагонистической активностью обладают штаммы Ш-10 и Ш-12, которые по сумме зон задержки роста (Σ) значительно превосходят остальные исследованные изоляты. Штамм Ш-10 (ранг 1) продемонстрировал наибольшую интегральную активность ($\Sigma = 402,7$ мм; средний диаметр $26,9 \pm 6,2$ мм). Штамм Ш-12 (ранг 2) показал близкие результаты ($\Sigma = 389,4$ мм; средний диаметр $26,0 \pm 6,2$ мм). У штамма Ш-10 наиболее выраженное ингибирующее действие зафиксировано в отношении *A.niger* ($37,3 \pm 1,2$ мм), *B.subtilis* ($33,7 \pm 1,5$ мм), *L.monocytogenes* ($33,0 \pm 0,0$ мм) и *S.aureus* ($33,0 \pm 1,0$ мм). Высокие зоны задержки (≥ 25 мм) отмечены также для *E.faecalis*, *E.coli*, *S.enteritidis* и *P.aeruginosa*. Штамм Ш-12 (ранг 2) проявил эффективность с максимальными значениями против *A.niger* ($34,7 \pm 3,1$ мм), *L.monocytogenes* ($32,7 \pm 0,6$ мм) и *B.subtilis* ($32,3 \pm 1,5$ мм). Высокую активность штамм проявил также в отношении *E.coli* ($31,3 \pm 6,0$ мм), *E.faecalis* ($30,7 \pm 1,5$ мм) и *S.aureus* ($29,0 \pm 1,0$ мм). Сделан статистический вывод — с доверительной вероятностью 95% доказано эффективность исследуемых штаммов неодинакова. Наблюдаемые различия в зонах задержки роста между штаммами *B. mojavensis* являются статистически значимыми и обусловлены свойствами самих образцов, а не случайными факторами.

Представленные результаты, показывающие наличие полирезистентных штаммов, подтверждают обязательную необходимость проведения скрининга микроорганизмов на резистентность к антибактериальным препаратам. Так, включение штаммов №15 или №8 в коммерческий биопрепарат создало бы прямую биологическую угрозу формирования резервуара резистентности в желудочно-кишечном тракте целых животных.

Важно отметить, что все четыре штамма, образующиеся по критерию наивысшей суммарной чувствительности к антибиотикам, таким как кандидаты для пробиотического препарата (Ш-7, Ш-10, Ш-12), группируются исключительно в кластерах I и II — две группы с наиболее благоприятным профилем чувствительности, которые определяют правильность отбора данных штаммов методами описательной статистики и иерархического кластерного анализа.

Полученные в ходе скрининга данные могут говорить о выраженной межштаммовой вариабельности антагонистической активности у представителей рода *Bacillus mojavensis*. Наиболее активные штаммы (Ш-10, Ш-12 и Ш-7) стабильно подавляли рост как грамположительных, так и

грамотрицательных тест-культур, что позволяет предположить продукцию антимикробных соединений с широким спектром действия, вероятно, включающих бактериоцины и низкомолекулярные антибиотикоподобные вещества.

Высокий уровень антагонизма исследуемых штаммов-лидеров зафиксирован в отношении грибных тест-культур *A. niger*, *E. nigrum*, *A. pullulans*, *P. Commune* и *Ph. herbarum*, а также дрожжей *C. albicans*. Данный результат обращает на себя внимание в силу практической значимости проблемы микотоксикозов в животноводстве, где контаминация кормов плесневыми грибами остается одним из основных факторов снижения продуктивности. Можно предположить, что ингибирующий эффект обусловлен продукцией бациллярных антимикотиков — например, липопептидов групп итурина или фенгицина, хотя прямое подтверждение этого требует дополнительных экспериментов. С другой стороны, все изученные штаммы показали низкую активность против *B. licheniformis*, что не противоречит литературным данным о слабо выраженном антагонизме внутри вида *Bacillaceae* при совместном культивировании.

Интегральная оценка антагонистической активности (суммарный диаметр зон подавления роста по 15 тест-культурам) позволила выделить штаммы Ш-10, Ш-12 и Ш-7 в качестве объектов для дальнейших исследований. Они характеризуются широким спектром действия и стабильно высоким уровнем ингибирования большинства индикаторных микроорганизмов, включая грибные тест-культуры. Кроме того, не исключено их использование в составе комбинированных пробиотических композиций, в том числе в ассоциации со штаммами *B. licheniformis*, однако совместное применение требует дальнейшей оценки эффективности в условиях конкурентного роста.

Выводы/Conclusion

При сравнении 15 изолятов *Bacillus mojavensis*, полученных из кишечника цыплят-бройлеров, выявлены существенные различия по двум параметрам: чувствительности к антибиотикам и антагонистической активности в отношении бактериальных и грибковых тест-культур. Оба критерия определяют пригодность штаммов для разработки ветеринарных пробиотиков. Оценку проводили диско-диффузионным методом, данные кластеризовали по Уорду с использованием евклидова расстояния. Три штамма — № 7, № 10 и № 12 — давали зоны задержки роста свыше 25 мм и не имели признаков резистентности к антибиотикам. Штаммы № 8 и № 15, напротив, проявили множественную устойчивость, что послужило основанием для их исключения из числа кандидатов. Полученные данные подтверждают необходимость проведения антибиотикорезистентного скрининга на начальных этапах отбора пробиотических штаммов.

Наиболее перспективным для практического использования был штамм *B. mojavensis* № 10, продемонстрировавший наибольшую интегральную антагонистическую активность ($\Sigma = 402,7$ мм) и превосходящий другие изоляты по сумме зон задержки роста ($p < 0,05$), он имел выраженную антифунгальную активность в отношении *Aspergillus niger*, *Epicoccum nigrum* и *Penicillium commune*. Согласно данному исследованию, этот изолят сочетает широкий спектр антимикробного действия, высокую биобезопасность и благоприятный профиль чувствительности к

антибиотикам, что позволяет рекомендовать его в качестве основного компонента пробиотического препарата широкого спектра действия для птицеводства.

Предложенный комплексный подход, включающий ранжирование по вектору «антагонистическая активность — антибиотикочувствительность», может служить методологической основой для объективного отбора безопасных и функционально активных штаммов-пробионтов и минимизации рисков формирования антибиотикорезистентности в животноводстве.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность направлению ветеринарно-санитарной экспертизы ООО НИЦ «Черкизово» за возможность проведения лабораторных испытаний

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филимонов Д.Н., Енгаршев С.В., Лесниченко И.Ю., Кисарова А.А. Борьба с лекарственной резистентностью на птицеводческих предприятиях России: видовой состав патогенных микроорганизмов и мониторинг эффективности лекарственных препаратов. *Птицеводство*. 2024; (9): 78–81. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-9-78-81>
2. Muaz K., Riaz M., Akhtar S., Park S., Ismail A. Antibiotic Residues in Chicken Meat: Global Prevalence, Threats, and Decontamination Strategies: A Review. *Journal of Food Protection*. 2018; 81(4): 619–627. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-086>
3. Vieco-Saiz N. *et al.* Unraveling the benefits of *Bacillus subtilis* DSM 29784 poultry probiotic through its secreted metabolites: an *in vitro* approach. *Microbiology Spectrum*. 2024; 12(11): e00177-24. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00177-24>
4. Тюрин Д.Г. *и др.* Развитие антибиотикорезистентности микроорганизмов у цыплят-бройлеров под влиянием ветеринарных антибиотиков и пробиотика. *Аграрная наука*. 2024; (3): 85–91. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-85-91>
5. Fei L. *et al.* A probiotic *Brevibacillus laterosporus* promotes chicken growth performance immunity and gut health. *Scientific Reports*. 2026; 16: 21. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-29309-3>
6. Ефременкова О.В. *и др.* Антибиотическая активность пробиотического штамма *Bacillus subtilis* 534 в отношении клинических изолятов *Acinetobacter baumannii*. *Антибиотики и Химиотерапия*. 2016; 61(9–10): 3–7. EDN: XUJXT
7. Орлова Т.Н., Иркитова А.Н., Гребенщикова А.В., Дудник Д.Е. Изучение антибиотикочувствительности нового ризосферного штамма *Bacillus pumilus* B-13250 для возможности использования его в составе пробиотических препаратов для животноводства. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020; (1): 111–115. EDN: BWOOJD
8. Helmy Y.A., Closs G., Jung K., Kathayat D., Vlasova A., Rajashekara G. Effect of Probiotic *E. coli* Nissle 1917 Supplementation on the Growth Performance, Immune Responses, Intestinal Morphology, and Gut Microbes of *Campylobacter jejuni* Infected Chickens. *Infection and Immunity*. 2022; 90(10): e00337-22. <https://doi.org/10.1128/iai.00337-22>
9. Oladokun S., Koehler A., MacIsaac J., Ibeagha-Awemu E.M., Adewole D.I. *Bacillus subtilis* delivery route: effect on growth performance, intestinal morphology, cecal short-chain fatty acid concentration, and cecal microbiota in broiler chickens. *Poultry Science*. 2021; 100(3): 100809. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.063>
10. Payne J., Bellmer D., Jadeja R., Muriana P. The Potential of *Bacillus* Species as Probiotics in the Food Industry: A Review. *Foods*. 2024; 13(15): 2444. <https://doi.org/10.3390/foods13152444>
11. Alhassani A.N.A. *et al.* A Review on *Aspergillus* in Turkey: As a Main Fungal Disease in Poultry. *Veterinary Medicine and Science*. 2025; 11(6): e70605. <https://doi.org/10.1002/vms3.70605>
12. Belalmi N.E.H., Sid N., Sedrati T., Ouhida S., Bennoune O., Özmen Ö. *Multisystemic aspergillosis* with unusual vertebral osteomyelitis in a turkey flock in Bordj Bou Arreridj Province, Algeria. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(5): 2009–2015. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i5.16>
13. Almremdhay H.A.A.-E., Neamha G.A.K., Al-Hilli Z.B., Awadh R.J. Pathological, hematological, and biochemical alteration in broiler chickens infected with mycotoxin in Babylon province. *Open Veterinary Journal*. 2024; 14(11): 2848–2859. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i11.13>
14. Khaziakhmetov F. *et al.* Valuable Effect of Using Probiotics in Poultry Farming. *Annual Research & Review in Biology*. 2018; 18(3): 1–6. <https://doi.org/10.9734/arrb/2018/40070>
15. Sharipova A. *et al.* The effects of a probiotic dietary supplementation on the livability and weight gain of broilers. *Annual Research and Review in Biology*. 2017; 21(5): 1–7. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/37344>
16. Погодаев В.А., Ребезов М.Б. Продуктивность и динамика метаболических процессов в организме молодняка индеек, при использовании в рационе эубиотиков на основе бифидобактерий штамма *Bifidobacterium bifidum*. *Все о мясе*. 2023; (3): 36–47. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-3-36-47>
17. Тарасова Е.Ю., Матросова Л.Е. Изучение биохимических показателей сыворотки крови кур-несушек при сочетанном микотоксикозе на фоне применения многокомпонентного средства «Галлуасорб». *Вестник КРАСГАУ*. 2024; (10): 140–146. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-10-140-146>

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

GRATITUDE

The author expresses gratitude to the veterinary and sanitary expertise department of the Cherkizovo Research Center for the opportunity to conduct laboratory tests.

REFERENCES

1. Filimonov D.N., Engashev S.V., Lesnichenko I.Y., Kisarova A.A. Control of microbial drug resistance in poultry farms in Russia: taxonomy of pathogens and monitoring of their sensitivity to antimicrobials. *Pitisevodstvo*. 2024; (9): 78–81 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2024-73-9-78-81>
2. Muaz K., Riaz M., Akhtar S., Park S., Ismail A. Antibiotic Residues in Chicken Meat: Global Prevalence, Threats, and Decontamination Strategies: A Review. *Journal of Food Protection*. 2018; 81(4): 619–627. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-086>
3. Vieco-Saiz N. *et al.* Unraveling the benefits of *Bacillus subtilis* DSM 29784 poultry probiotic through its secreted metabolites: an *in vitro* approach. *Microbiology Spectrum*. 2024; 12(11): e00177-24. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00177-24>
4. Tiurina D.G. *et al.* The development of antimicrobial resistance in broilers affected by veterinary antimicrobials and a probiotic administration. *Agrarian science*. 2024; (3): 85–91 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-85-91>
5. Fei L. *et al.* A probiotic *Brevibacillus laterosporus* promotes chicken growth performance immunity and gut health. *Scientific Reports*. 2026; 16: 21. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-29309-3>
6. Efremenkova O.V. *et al.* Antibiotic Activity of Probiotic Strain *Bacillus subtilis* 534 Against Clinical Isolates of *Acinetobacter baumannii*. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2016; 61(9–10): 3–7 (in Russian). EDN: XUJXT
7. Orlova T.N., Irkitova A.N., Grebenshchikova A.V., Dudnik D.Ye. The study of antibiotic susceptibility of a new rhizosphere strain *Bacillus pumilus* B-13250 to use it in the composition of probiotic products for livestock. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020; (1): 111–115 (in Russian). EDN: BWOOJD
8. Helmy Y.A., Closs G., Jung K., Kathayat D., Vlasova A., Rajashekara G. Effect of Probiotic *E. coli* Nissle 1917 Supplementation on the Growth Performance, Immune Responses, Intestinal Morphology, and Gut Microbes of *Campylobacter jejuni* Infected Chickens. *Infection and Immunity*. 2022; 90(10): e00337-22. <https://doi.org/10.1128/iai.00337-22>
9. Oladokun S., Koehler A., MacIsaac J., Ibeagha-Awemu E.M., Adewole D.I. *Bacillus subtilis* delivery route: effect on growth performance, intestinal morphology, cecal short-chain fatty acid concentration, and cecal microbiota in broiler chickens. *Poultry Science*. 2021; 100(3): 100809. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.063>
10. Payne J., Bellmer D., Jadeja R., Muriana P. The Potential of *Bacillus* Species as Probiotics in the Food Industry: A Review. *Foods*. 2024; 13(15): 2444. <https://doi.org/10.3390/foods13152444>
11. Alhassani A.N.A. *et al.* A Review on *Aspergillus* in Turkey: As a Main Fungal Disease in Poultry. *Veterinary Medicine and Science*. 2025; 11(6): e70605. <https://doi.org/10.1002/vms3.70605>
12. Belalmi N.E.H., Sid N., Sedrati T., Ouhida S., Bennoune O., Özmen Ö. *Multisystemic aspergillosis* with unusual vertebral osteomyelitis in a turkey flock in Bordj Bou Arreridj Province, Algeria. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(5): 2009–2015. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i5.16>
13. Almremdhay H.A.A.-E., Neamha G.A.K., Al-Hilli Z.B., Awadh R.J. Pathological, hematological, and biochemical alteration in broiler chickens infected with mycotoxin in Babylon province. *Open Veterinary Journal*. 2024; 14(11): 2848–2859. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i11.13>
14. Khaziakhmetov F. *et al.* Valuable Effect of Using Probiotics in Poultry Farming. *Annual Research & Review in Biology*. 2018; 18(3): 1–6. <https://doi.org/10.9734/arrb/2018/40070>
15. Sharipova A. *et al.* The effects of a probiotic dietary supplementation on the livability and weight gain of broilers. *Annual Research and Review in Biology*. 2017; 21(5): 1–7. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/37344>
16. Pogodaev V.A., Rebezov M.B. Bifidobacterium bifidum productivity and dynamics of metabolic processes in the body of young turkeys when using eubiotics based on the Bifidobacterium bifidum strain in the diet. *Vsyo O Myase*. 2023; (3): 36–47. (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-3-36-47>
17. Tarasova E.Yu., Matrosova L.E. Study of biochemical indicators of laying hens blood serum with combined mycotoxicosis against the multi-component agent Galluasorb background use. *Bulletin of KSAU*. 2024; (10): 140–146 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-10-140-146>

18. Dastjerdi Z.K., Ghazi S. Microencapsulation of *Bacillus Mojavensis* as potent probiotic strain isolated from soil of Iran and determining characterization. The Microbe. 2025; 8: 100425. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100425>
19. Etyemez Büyükdavci M., Cengizler İ., Balcázar J.L., Demirkale İ. Effects of two host-associated probiotics *Bacillus mojavensis* B191 and *Bacillus subtilis* MRS11 on growth performance, intestinal morphology, expression of immune-related genes and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae*. Developmental & Comparative Immunology. 2023; 138: 104553. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104553>
20. Martínez-Ortiz V.M. et al. *Bacillus mojavensis* isolated from aguamiel and its potential as a probiotic bacterium. Electronic Journal of Biotechnology. 2024; 67: 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2023.11.002>
21. Trujillo-López M.A. et al. *Bacillus mojavensis* postbiotics: transcriptomic and anticancer effects in colon cancer cells. AMB Express. 2026; 16: 39. <https://doi.org/10.1186/s13568-026-02018-4>
22. Diabankana R.G.C., Afordoanyi D.M., Safin R.I., Nizamov R.M., Karimova L.Z., Validov S.Z. Antifungal Properties, Abiotic Stress Resistance, and Biocontrol Ability of *Bacillus mojavensis* PS17. Current Microbiology. 2021; 78(8): 3124–3132. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02578-7>
23. Ze M. et al. Beneficial effects of *Bacillus mojavensis* strain MTC-8 on plant growth, immunity and disease resistance against *Magnaporthe oryzae*. Frontiers in Microbiology. 2024; 15: 1422476. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1422476>
24. Wang B., Lei X., Chen J., Li W., Long Y., Wang W. Antifungal Activities of *Bacillus mojavensis* BQ-33 towards the Kiwifruit Black Spot Disease Caused by the Fungal Pathogen *Didymella glomerata*. Microorganisms. 2022; 10(10): 2085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102085>
25. Li Y., Tang X., Chen L., Xu X., Li J. Characterization of a Nattokinase from the Newly Isolated Bile Salt-Resistant *Bacillus mojavensis* LY-06. Foods. 2022; 11(16): 2403. <https://doi.org/10.3390/foods11162403>
26. Saxena A.K., Kumar M., Chakdar H., Anuroopa N., Bagyaraj D.J. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. Journal of Applied Microbiology. 2020; 128(6): 1583–1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
27. Василевич Ф.И., Бачинская В.М., Шарапова Н.Р., Гурьева В.И. Эффективность пробиотических кормовых добавок для профилактики кишечных инфекций. АПК Россия. 2024; 31(4): 569–579. <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-569-579>
28. Rebezov M. et al. Improving meat quality and safety: innovative strategies. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2024; 18: 505–522. <https://doi.org/10.5219/1972>
29. Rebezov M. et al. Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries. Applied Sciences. 2021; 12(1): 319. <https://doi.org/10.3390/app12010319>
30. Камалетдинова А.В., Калашников В.А., Бодрякова Н.П., Калашников М.В. Разработка и валидация метода количественного определения *Salmonella* spp. в мясе птицы с использованием комбинации метода наиболее вероятного числа и полимеразной цепной реакции. Аграрная наука. 2026; (3): 34–41. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-34-41>
31. Чеботарь И.В., Поликарпова С.В., Боcharova Ю.А., Маянский Н.А. Использование времяпролетной масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией (MALDI-TOF MS) для идентификации бактериальных и грибковых возбудителей III–IV групп патогенности. Лабораторная служба. 2018; 7(2): 78–86. <https://doi.org/10.17116/labs20187278-86>
32. Гурьева В.И., Бачинская В.М., Шарапова Н.Р. Определение чувствительности пробиотических штаммов бактерий к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024; 10(1): 9–16. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-9-16>
33. Рузина А.В. Бактериологические исследования в птицеводстве для подбора эффективных антимикробных препаратов. Ветеринария. 2025; (9): 27–32. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.27-32>
34. Ohki R., Tateno K., Takizawa T., Aiso T., Murata M. Transcriptional termination control of a novel ABC transporter gene involved in antibiotic resistance in *Bacillus subtilis*. Journal of Bacteriology. 2005; 187(17): 5946–5954. <https://doi.org/10.1128/JB.187.17.5946-5954.2005>
35. Jamaluddin I.P. et al. Detection of *Pseudomonas aeruginosa* pus wound isolate using a polymerase chain reaction targeting 16S rRNA and gyrB genes: A case from Indonesia. Narra J. 2024; 4(2): e774. <https://doi.org/10.52225/narra.v4i2.774>
18. Dastjerdi Z.K., Ghazi S. Microencapsulation of *Bacillus Mojavensis* as potent probiotic strain isolated from soil of Iran and determining characterization. The Microbe. 2025; 8: 100425. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100425>
19. Etyemez Büyükdavci M., Cengizler İ., Balcázar J.L., Demirkale İ. Effects of two host-associated probiotics *Bacillus mojavensis* B191 and *Bacillus subtilis* MRS11 on growth performance, intestinal morphology, expression of immune-related genes and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae*. Developmental & Comparative Immunology. 2023; 138: 104553. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104553>
20. Martínez-Ortiz V.M. et al. *Bacillus mojavensis* isolated from aguamiel and its potential as a probiotic bacterium. Electronic Journal of Biotechnology. 2024; 67: 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2023.11.002>
21. Trujillo-López M.A. et al. *Bacillus mojavensis* postbiotics: transcriptomic and anticancer effects in colon cancer cells. AMB Express. 2026; 16: 39. <https://doi.org/10.1186/s13568-026-02018-4>
22. Diabankana R.G.C., Afordoanyi D.M., Safin R.I., Nizamov R.M., Karimova L.Z., Validov S.Z. Antifungal Properties, Abiotic Stress Resistance, and Biocontrol Ability of *Bacillus mojavensis* PS17. Current Microbiology. 2021; 78(8): 3124–3132. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02578-7>
23. Ze M. et al. Beneficial effects of *Bacillus mojavensis* strain MTC-8 on plant growth, immunity and disease resistance against *Magnaporthe oryzae*. Frontiers in Microbiology. 2024; 15: 1422476. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1422476>
24. Wang B., Lei X., Chen J., Li W., Long Y., Wang W. Antifungal Activities of *Bacillus mojavensis* BQ-33 towards the Kiwifruit Black Spot Disease Caused by the Fungal Pathogen *Didymella glomerata*. Microorganisms. 2022; 10(10): 2085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102085>
25. Li Y., Tang X., Chen L., Xu X., Li J. Characterization of a Nattokinase from the Newly Isolated Bile Salt-Resistant *Bacillus mojavensis* LY-06. Foods. 2022; 11(16): 2403. <https://doi.org/10.3390/foods11162403>
26. Saxena A.K., Kumar M., Chakdar H., Anuroopa N., Bagyaraj D.J. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. Journal of Applied Microbiology. 2020; 128(6): 1583–1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
27. Vasilevich F.I., Bachinskaya V.M., Sharapova N.R., Guryeva V.I. Efficiency of probiotic feed additives for the prevention of intestinal infections. Agro-industrial complex of Russia. 2024; 31(4): 569–579 (in Russian). <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2024-31-4-569-579>
28. Rebezov M. et al. Improving meat quality and safety: innovative strategies. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2024; 18: 505–522. <https://doi.org/10.5219/1972>
29. Rebezov M. et al. Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries. Applied Sciences. 2021; 12(1): 319. <https://doi.org/10.3390/app12010319>
30. Kamaletdinova A.V., Kalashnikov V.A., Bodryakova N.P., Kalashnikov M.V. Development and validation of a method for the quantification of *Salmonella* spp. in poultry meat using a combination of the most probable number and polymerase chain reaction. Agrarian science. 2026; (3): 34–41 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-34-41>
31. Chebotar' I.V., Polikarpova S.V., Bocharova Yu.A., Mayansky N.A. Use of matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) for identification of bacteria and fungi of the pathogenicity group III and IV. Laboratory Service. 2018; 7(2): 78–86 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/labs20187278-86>
32. Guryeva V.I., Bachinskaya V.M., Sharapova N.R. Determination of probiotic bacterial strains sensitivity to antibacterial drugs by the disc diffusion method. Vestnik of Mari State University. Chapter "Agricuture. Economics". 2024; 10(1): 9–16 (in Russian). <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-9-16>
33. Ruzina A.V. Poultry bacteriological studies to select effective antimicrobials. Veterinary. 2025; (9): 27–32 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.27-32>
34. Ohki R., Tateno K., Takizawa T., Aiso T., Murata M. Transcriptional termination control of a novel ABC transporter gene involved in antibiotic resistance in *Bacillus subtilis*. Journal of Bacteriology. 2005; 187(17): 5946–5954. <https://doi.org/10.1128/JB.187.17.5946-5954.2005>
35. Jamaluddin I.P. et al. Detection of *Pseudomonas aeruginosa* pus wound isolate using a polymerase chain reaction targeting 16S rRNA and gyrB genes: A case from Indonesia. Narra J. 2024; 4(2): e774. <https://doi.org/10.52225/narra.v4i2.774>

ОБ АВТОРАХ

Максим Вячеславович Калашников^{1, 2}

- аспирант¹;
 - младший научный сотрудник²
- maxim07092001@gmail.com

¹Волгоградский государственный аграрный университет, Университетский проспект, 26, Волгоград, 400002, Россия

²ООО «Синтол», ул. Тимирязевская, 42, корпус Б, Москва, 127434, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Maxim Viacheslavovich Kalashnikov^{1, 2}

- Postgraduate student¹;
 - Junior Researcher²
- maxim07092001@gmail.com

¹Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky Ave., Volgograd, 400002, Russia

²Synthol LLC, 42B Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia

УДК 639.3:579.64:615.371

Научный обзор



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65

М.Г. Маноян ✉

А.Н. Иванова

А.Н. Панин

А.В. Иванов

Всероссийский государственный
Центр качества и стандартизации
лекарственных средств для животных
и кормов (ФГБУ «ВГНКИ»), Москва,
Россия,

✉ mycology@vgnki.ru

Поступила в редакцию: 30.06.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Маноян М.Г., Иванова А.Н., Панин А.Н.,
Иванов А.В.

Пробиотики в аквакультуре: механизмы действия и технологические подходы (часть 1)

РЕЗЮМЕ

В первой части научного обзора систематизированы современные данные о пробиотиках как инструменте неспецифической профилактики инфекционных болезней рыб и технологического управления здоровьем в аквакультуре. Рассмотрены инфекционные риски интенсивного рыбоводства и иммунологические особенности рыб, определяющие эффективность микробиом-ориентированных вмешательств. Обобщены сведения о кормовых и водных пробиотиках, синбиотиках, парапробиотиках, постбиотиках и использовании функциональных микробных сообществ в биофлок-системах. Проанализированы основные механизмы действия: конкурентное исключение патогенов, продукция антимикробных метаболитов, модуляция кишечной, кожной и жаберной микробиоты, укрепление барьерных функций, иммуномодуляция, улучшение пищеварения, кормовой конверсии и микробиологического состояния водной среды. Отдельное внимание уделено биоконтролю сапролегниоза и других оомикозов, включая ограничения переноса результатов *in vitro* в производственные условия. Представлены технологические подходы к отбору штаммов, ферментации, стабилизации, микрокапсулированию и введению пробиотиков в корм или воду. Показано, что пробиотики наиболее обоснованно рассматривать как фундаментальную фоновую поддержку здоровья и биобезопасности, эффективность которой зависит от штамма, вида рыбы, среды выращивания и качества доказательной валидации.

Ключевые слова: аквакультура, пробиотики, пробиотические кормовые добавки, рыбы, микробиота, антибиотикорезистентность, биофлок, сапролегниоз, *Saprolegnia*, биоконтроль, слизистый иммунитет, биобезопасность.

Для цитирования: Маноян М.Г., Иванова А.Н., Панин А.Н., Иванов А.В. Пробиотики в аквакультуре: механизмы действия и технологические подходы (часть 1). *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 53–65.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65>

Review



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65

Marina G. Manoyan ✉

Anna N. Ivanova

Alexander N. Panin

Arkadiy V. Ivanov

The Russian State Center for Animal
Feed and Drug Standardization and
Quality, Moscow, Russia,

✉ mycology@vgnki.ru

Received by the editorial office: 30.06.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Manoyan M.G., Ivanova A.N., Panin A.N.,
Ivanov A.V.

Probiotics in aquaculture: mechanisms of action and technological approaches (Part 1)

ABSTRACT

The first part of this review synthesizes current evidence on probiotics as tools for non-specific prevention of infectious fish diseases and technology-oriented health management in aquaculture. Infectious risks associated with intensive fish production and immunological features of fish that determine the effectiveness of microbiota-oriented interventions are outlined. Feed-based and water-applied probiotics, synbiotics, paraprobiotics, postbiotics, and functional microbial communities used in biofloc systems are reviewed. Major mechanisms of action include competitive exclusion of pathogens, production of antimicrobial metabolites, modulation of intestinal, skin and gill microbiota, strengthening of barrier functions, immunomodulation, improved digestion and feed conversion, and stabilization of the microbiological status of the aquatic environment. Particular attention is paid to probiotic biocontrol of saprolegniosis and other oomycete infections, including the limitations of translating *in vitro* antagonism into field-level protection. Technological approaches to strain selection, fermentation, stabilization, microencapsulation and delivery through feed or water are summarized. The evidence indicates that probiotics are best regarded as a fundamental background component of fish health and biosecurity programs, whose effectiveness is strongly dependent on strain identity, host species, husbandry conditions and rigorous validation under controlled and production settings.

Key words: aquaculture, probiotics, probiotic feed additives, fish, microbiota, antimicrobial resistance, biofloc, saprolegniosis, *Saprolegnia*, biocontrol, mucosal immunity, biosecurity.

For citation: Manoyan M.G., Ivanova A.N., Panin A.N., Ivanov A.V. Probiotics in aquaculture: mechanisms of action and technological approaches (Part 1). *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 53–65 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65>

Введение/Introduction

Аквакультура за последние десятилетия превратилась из вспомогательного источника рыбной продукции в один из базовых сегментов мировой продовольственной системы. Интенсификация выращивания лососевых, карповых, тиляпии, морских окуневых, осетровых и других видов сопровождается повышением плотности посадки, ускорением оборота производственных циклов и ростом перемещения посадочного материала между хозяйствами и регионами. Эти процессы создают благоприятные условия для циркуляции бактериальных, вирусных, грибковых и паразитарных агентов, а также для формирования сложных смешанных инфекций. Поэтому профилактика в современной аквакультуре должна рассматриваться не как набор разрозненных мероприятий, а как управляемая система, в которой биобезопасность, вакцинация, функциональное кормление и контроль микробиоты взаимно дополняют друг друга [1-4].

Ветеринарная медицина рыб отличается от медицины наземных сельскохозяйственных животных рядом принципиальных особенностей. Рыба постоянно контактирует с микробным сообществом водной среды, а кожа, жабры и кишечник одновременно являются физиологическими барьерами, иммунологическими органами и участниками обмена веществ с окружающей средой. При ухудшении гидрохимических параметров, температурных колебаниях, хроническом стрессе или несбалансированном кормлении резко возрастает восприимчивость к оппортунистическим патогенам. В таких условиях применение только лечебных антибактериальных препаратов не решает проблему, поскольку болезнь часто является следствием нарушения системы выращивания, а не изолированного проникновения одного возбудителя.

Исторически антибиотики и химические средства использовались в аквакультуре как быстрый способ купирования вспышек. Однако накопление данных об антимикробной резистентности, остаточных количествах лекарственных средств в рыбной продукции, воздействии на микробиоту водных экосистем и ограничениях экспортных рынков усилило интерес к профилактическим технологиям. Вакцины доказали высокую эффективность против ряда бактериальных и вирусных заболеваний, особенно в индустриальном выращивании лососевых. Пробиотики, в свою очередь, получили распространение как компоненты функциональных кормов и водных биопрепаратов, способные снижать инфекционный прессинг и повышать неспецифическую резистентность рыб [5-9].

Тема комплексного применения пробиотиков и вакцин особенно актуальна потому, что эти технологии действуют на разных уровнях. Вакцина формирует специфическую иммунологическую память или длительную антиген-специфическую готовность, тогда как пробиотик

преимущественно влияет на микробиоту, барьерные ткани, врожденный иммунитет, пищеварение и среду обитания. Следовательно, их сочетание потенциально позволяет закрыть «профилактический разрыв»: период раннего выращивания до вакцинации, стрессовые окна после сортировки и транспортировки, снижение эффективности иммунного ответа при неблагоприятной температуре, а также риск мукозального заражения через жабры и кишечник.

Цель настоящего обзора — обобщить современное состояние применения пробиотиков и вакцин в аквакультуре, раскрыть механизмы их действия, охарактеризовать технологические подходы к доставке и сформулировать перспективы построения комплексных программ профилактики инфекционных болезней рыб. Особое внимание уделяется практической применимости: какие решения уже используются в хозяйствах, какие остаются экспериментальными, какие риски требуют контроля и каким образом пробиотики и вакцины могут быть интегрированы в ветеринарное сопровождение рыбоводческих предприятий.

Дополнительно следует учитывать, что инфекционная безопасность аквакультуры определяется не только наличием возбудителя, но и совокупностью технологических факторов. К факторам, повышающим микробную нагрузку и восприимчивость рыб, относятся высокая плотность посадки, использование несбалансированных или нестабильных кормов, накопление органических отходов, повышение мутности, неблагоприятные значения pH воды, дефицит растворенного кислорода, колебания температуры, транспортный и сортировочный стресс, а также неудовлетворительное санитарное состояние оборудования и водообменных систем [10-12]. Именно поэтому пробиотики и вакцины должны рассматриваться не изолированно, а как элементы единой программы биобезопасности.

Задачи обзора

1. Проанализировать современные данные о применении пробиотиков в аквакультуре и их роли в профилактике инфекционных болезней рыб.
2. Охарактеризовать основные группы пробиотических микроорганизмов, используемые в рыбоводстве, и их функциональные свойства.
3. Рассмотреть механизмы действия пробиотиков, включая конкурентное вытеснение патогенов, продукцию антимикробных веществ, иммуномодуляцию, улучшение пищеварения и влияние на качество воды.
4. Обобщить сведения о составе, критериях отбора и технологиях изготовления пробиотических кормовых добавок для аквакультуры.
5. Оценить значение пробиотиков как альтернативного и дополняющего инструмента по отношению к антибиотикам в профилактических программах.
6. Рассмотреть современные подходы к разработке вакцин для аквакультуры, включая

бактериальные, вирусные и экспериментальные противогрибковые направления.

7. Проанализировать возможность комплексного применения пробиотиков и вакцин для повышения устойчивости рыб к инфекционным заболеваниям.

8. Определить основные трудности разработки вакцин против грибковых и грибоподобных патогенов рыб.

Материал и методы исследования / Material and methods

Обзор выполнен как структурированный нарративный анализ с элементами *scoping review* в соответствии с рекомендациями PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews). Такой формат выбран из-за высокой неоднородности публикаций по аквакультуре: исследования различаются по видам рыб, температуре воды, солености, составу кормов, возрасту и физиологическому состоянию животных, типу хозяйственной системы, штаммам пробиотиков, вакцинным платформам, способам введения и конечным точкам оценки эффективности. В связи с этим количественный метаанализ для всей совокупности данных не проводился.

Поиск литературы осуществлялся в следующих электронных базах данных: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science Core Collection, Google Scholar, а также в специализированных базах по ветеринарии и аквакультуре — CAB Abstracts (CABI) и Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA). Глубина поиска охватывала период с января 2000 г. по июнь 2026 г. включительно, что позволило проследить эволюцию подходов к применению пробиотиков и вакцин в аквакультуре за последние 25 лет — от первых систематических исследований до современных высокотехнологичных разработок. Для ключевых исторических работ, определивших фундаментальные основы иммунологии рыб и пробиотической профилактики, допускалось включение публикаций более раннего периода (1990–1999 гг.) при условии их высокой цитируемости и концептуальной значимости.

Поисковые запросы формировались на английском языке с использованием следующих ключевых слов и их комбинаций: *aquaculture, fish, probiotics, probiotic feed additives, vaccines, bacterial infections, viral diseases, fungal diseases, oomycete infections, saprolegniosis, Saprolegnia, Aphanomyces invadans, immunoprophylaxis, mucosal immunity, adjuvants, DNA vaccines, oral vaccination, synbiotics, paraprobiotics, biofloc, antimicrobial resistance*. Для повышения чувствительности поиска применялись операторы булевой логики (AND, OR, NOT) и усеечение терминов (например, *vaccin, probiot, immun*). Дополнительно проводился ручной поиск по спискам литературы релевантных обзоров и оригинальных статей (метод «снежного кома»).

В информационную базу включались публикации по иммунологии рыб, инфекционным болезням аквакультуры, пробиотикам, парапробиотикам, постбиотикам, биофлок-технологиям, вакцинам, адъювантам, мукозальной иммунизации, грибковым и оомицетным болезням рыб. Приоритет отдавался обзорам и экспериментальным исследованиям последних лет, документам международных организаций (FAO, WOAH), а также базовым работам, определившим современные подходы к вакцинологии рыб и пробиотической профилактике [1-9, 13-20].

Поиск проводился преимущественно на английском языке, что обусловлено статусом английского как основного языка международной научной коммуникации в области аквакультуры, иммунологии рыб и ветеринарной медицины. Подавляющее большинство рецензируемых журналов с высоким импакт-фактором, индексируемых в ведущих базах данных (PubMed, Scopus, Web of Science), публикуют статьи на английском языке. Кроме того, все основные международные руководства и обзоры по вакцинации рыб и применению пробиотиков, включая документы FAO и WOAH, доступны на английском языке.

Вместе с тем, авторы отдают себе отчет в том, что в России и странах СНГ ведутся активные исследования по пробиотикам и вакцинации рыб, результаты которых публикуются в отечественных журналах на русском языке (например, «Ветеринария», «Рыбное хозяйство», «Вопросы рыбоводства», «Аграрная наука»). Для минимизации риска упущения значимых российских разработок в обзор были включены публикации российских авторов в международных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science [21], а также работы, цитируемые в международных обзорах. Авторы признают, что полный охват всей русскоязычной литературы не был достигнут, и рассматривают это как ограничение настоящего обзора, которое может быть восполнено в последующих исследованиях, посвященных сравнительному анализу российских и зарубежных подходов к пробиотической и вакцинной профилактике в аквакультуре.

Для повышения воспроизводимости анализа источники оценивались по следующим признакам: вид рыбы, возраст или производственная стадия, возбудитель или модель инфекции, происхождение и идентификация пробиотического штамма, путь введения, дозировка, продолжительность применения, наличие контрольной группы, наличие экспериментального заражения, иммунологические и микробиологические показатели, производственные показатели, длительность наблюдения и признаки безопасности. Для вакцин дополнительно учитывались тип антигена, адъювант, схема иммунизации, путь введения, длительность защиты, возможность масштабирования и наличие коммерческого или полевого применения.

Доказательность рассматривалась по практико-ориентированной шкале. Наиболее высокий уровень получали технологии, имеющие коммерческое применение, полевые данные и воспроизводимые результаты по снижению заболеваемости или потребности в антибиотиках. Средний уровень присваивался подходам, подтвержденным контролируемыми опытами с экспериментальным заражением. Более низкий уровень имели результаты *in vitro*, исследования микробного антагонизма, иммунологические маркеры без проверки защиты, *in silico*-модели и концептуальные разработки. Такая схема не является формальной системой оценки качества доказательств, но позволяет отделить технологии, уже применимые в рыбоводных хозяйствах, от экспериментальных направлений, требующих дальнейшей проверки.

Ограничением обзора является то, что многие работы по пробиотикам и вакцинам в аквакультуре описывают положительные эффекты в конкретных лабораторных условиях, но не всегда подтверждают их в производственных системах. Поэтому в тексте особое внимание уделено не только механизмам действия, но и трансляционной применимости: масштабированию, безопасности, устойчивости эффекта, экономической целесообразности и регуляторным требованиям.

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

Инфекционные болезни рыб как объект комплексной профилактики

Инфекционная патология рыб включает широкий спектр бактериальных, вирусных, грибковых и паразитарных заболеваний. Среди бактериальных агентов наибольшее практическое значение имеют *Aeromonas spp.*, *Vibrio spp.*, *Flavobacterium columnare*, *Yersinia ruckeri*, *Edwardsiella tarda*, *Edwardsiella ictaluri*, *Streptococcus iniae*, *Streptococcus agalactiae*, *Renibacterium salmoninarum*, *Photobacterium damsela* и *Tenacibaculum spp.* Для вирусных болезней характерны высокая контагиозность, значительные экономические потери и ограниченные терапевтические возможности; к наиболее важным относятся инфекционный некроз гемопозитической ткани, инфекционный некроз поджелудочной железы, вирусная геморрагическая септицемия, инфекционная анемия лососевых, карповый герпесвирус и вирус тиляпии озера [20, 22-26].

В отличие от многих наземных животных, рыбы часто содержатся в условиях, где патоген присутствует в воде постоянно, а его концентрация меняется в зависимости от температуры, органической нагрузки, плотности посадки и состояния биофильтров. Это делает профилактику более сложной: эффективная вакцинация не отменяет необходимости контроля воды, а пробиотическая коррекция микробиоты не заменяет

специфическую иммунопрофилактику против высоковирулентных возбудителей [1, 5, 13]. На практике болезнь возникает на пересечении трех факторов: восприимчивого хозяина, патогена и среды, ослабляющей барьерные механизмы.

Экономическая значимость инфекционных болезней проявляется не только в прямой смертности. Субклинические инфекции ухудшают конверсию корма, замедляют рост, повышают неоднородность партии, ухудшают товарное качество и увеличивают затраты на сортировку, лечение и санитарные мероприятия. В племенных и маточных стадах инфекции также могут снижать качество гамет, выживаемость личинок и иммунологическую полноценность потомства. Поэтому профилактика должна начинаться до клинической вспышки и включать оценку риска для каждого производственного этапа [1, 10-12].

Наиболее перспективной считается модель, при которой специфическая защита создается вакцинами против доминирующих возбудителей, а неспецифическая устойчивость поддерживается функциональными кормами, пробиотиками, пребиотиками, иммуностимуляторами и управлением стрессом. Такой подход соответствует принципам «One Health», поскольку уменьшает потребность в антибиотиках и снижает давление отбора резистентных бактерий в водной среде [1-2, 27].

В практической ихтиопатологии термин «грибковые инфекции рыб» часто используется широко и включает как истинные микозы, вызываемые представителями царства Fungi, так и заболевания, обусловленные грибоподобными организмами — прежде всего, оомицетами. Для ветеринарной аквакультуры это различие принципиально: оомицеты филогенетически относятся не к настоящим грибам, а к группе *Stramenopiles/Chromista*, имеют иные особенности клеточной стенки, метаболизма и чувствительности к препаратам. Тем не менее, в клинической практике сапролегниоз, ахлиоз и эпизоотический язвенный синдром традиционно рассматриваются в блоке микотических болезней рыб, поскольку проявляются ростом мицелия или гифоподобных структур на коже, жабрах, икре и в поврежденных тканях [28-30].

Наиболее значимым оомикозом пресноводной аквакультуры является сапролегниоз, главным образом связанный с *Saprolegnia parasitica* и родственными видами *Saprolegnia*. Заболевание характеризуется беловато-серым «ватобразным» налетом на коже, плавниках, жабрах или икре, поражением эпидермиса, нарушением осморегуляции, вторичными бактериальными инфекциями и повышенной смертностью. У икры сапролегниевые оомицеты быстро колонизируют погибшие икринки и затем распространяются на соседние живые, что делает сапролегниоз одной из ключевых проблем инкубационных цехов лососевых, карповых и других пресноводных рыб [28, 31].

К числу факторов риска относят травмирование кожи при сортировке, вакцинации, транспортировке и нерестовых манипуляциях, высокую плотность посадки, органическое загрязнение воды, неблагоприятную температуру, ухудшение гидрохимических показателей, стресс и иммунную супрессию. Важной особенностью является оппортунистический характер многих вспышек: возбудитель может присутствовать в воде постоянно, а клиническая болезнь развивается при нарушении кожно-слизистого барьера. В связи с этим профилактика оомикозов не может ограничиваться обработкой против возбудителя и должна включать снижение травматизации, удаление погибшей икры, санитарный контроль, стабилизацию воды и поддержание слизистого иммунитета [28, 32].

Отдельное значение имеет инфекция *Aphanomyces invadans*, вызывающая эпизоотический язвенный синдром (EUS), известный также как red spot disease, ulcerative mycosis или mycotic granulomatosis. Это заболевание регистрируется у широкого спектра пресноводных и эстуарных рыб, проявляется некротизирующими язвенными поражениями кожи и мышц, гранулематозной реакцией и может иметь выраженное эпизоотическое значение. В отличие от поверхностного сапролегниоза, EUS связан с глубокой инвазией гиф в ткани, поэтому требует ранней диагностики, гистопатологического подтверждения и строгих мер биобезопасности [30, 33].

К настоящим микозам рыб относят, в частности, бранхиомикоз, ихтиофеноз и отдельные системные или локальные поражения, вызываемые грибами родов *Branchiomyces*, *Ichthyophonus*, *Exophiala*, *Fusarium* и др. Их распространенность ниже, чем бактериальных и вирусных болезней, однако они важны для дифференциальной диагностики хронической смертности, жаберной патологии и гранулематозных поражений. Для темы настоящего обзора наиболее существенны именно сапролегниоз и EUS, поскольку по ним накоплено больше данных о возможных иммунопрофилактических и биоконтрольных подходах (WOAH¹, MSD Veterinary Manual²).

Иммунологические особенности рыб, определяющие эффективность пробиотиков и вакцин

Иммунная система костистых рыб включает врожденные и адаптивные механизмы, но их организация и кинетика отличаются от млекопитающих. У рыб отсутствуют лимфатические узлы и классические пейеровы бляшки, а иммунные реакции слизистых оболочек формируются в диффузных лимфоидных структурах кишечника, кожи и жабр. Основными органами иммуногенеза являются почка, селезенка, тимус

и мукозально-ассоциированные ткани. Важную роль играют фагоцитоз, комплемент, лизоцим, антибактериальные пептиды, интерфероновый ответ, цитокиновая регуляция и иммуноглобулины IgM, IgT/IgZ и IgD [34–37].

Температурная зависимость иммунитета является одним из ключевых факторов рыбной вакцинологии. При снижении температуры замедляются пролиферация лимфоцитов, созревание антительного ответа и метаболическая активность иммунных клеток. Поэтому сроки вакцинации должны согласовываться с температурным профилем хозяйства и биологией вида. Неправильно выбранное время иммунизации может приводить к недостаточной сероконверсии или к защите, которая формируется позже, чем наступает период высокого инфекционного давления [15, 34–35].

Слизистый иммунитет имеет особое значение, поскольку большинство патогенов рыб проникает через жабры, кожу или кишечник. Жабры обладают огромной площадью контакта с водой и одновременно участвуют в дыхании, осморегуляции и экскреции азотистых соединений. Кишечник является местом всасывания питательных веществ и постоянного взаимодействия с микробиотой. Кожа и слизь содержат иммуноглобулины, лизоцим, комплемент, муцины и антимикробные компоненты. Именно поэтому пробиотики и мукозальные вакцины рассматриваются как взаимодополняющие инструменты: первые поддерживают барьерную и микробную устойчивость, вторые стремятся сформировать антиген-специфическую защиту на входных воротах инфекции [38–40].

Иммунологическая память у рыб существует, но ее продолжительность и выраженность зависят от вида, антигена, температуры, возраста, пути введения и адъюванта. Инактивированные инъекционные бактериальные вакцины часто обеспечивают длительную защиту у крупных рыб, но плохо подходят для ранних стадий и мелкой рыбы. Оральная вакцинация технологически привлекательна, однако антиген должен преодолеть протеолиз и кислую среду желудка, достигнуть иммунологически активных участков кишечника и не вызвать толерантность вместо защиты [18, 41].

Иммунологические особенности рыб, рассмотренные выше, определяют принципиальные различия в механизмах и сферах применения двух ключевых профилактических инструментов - пробиотиков и вакцин. Несмотря на то что оба подхода направлены на повышение устойчивости рыб к инфекционным болезням, они существенно отличаются по природе действия, срокам формирования защиты, специфичности и условиям практического применения. Сравнительная характеристика этих инструментов представлена в таблице 1.

¹WOAH. Infection with *Aphanomyces invadans* // Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals. — Paris: World Organisation for Animal Health, 2023. - URL: <https://www.woah.org/> (дата обращения: 10.06.2026).

²MSD Veterinary Manual. Mycotic diseases in aquaculture. — URL: <https://www.msdsvetmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/aquaculture/mycotic-diseases-in-aquaculture> (дата обращения: 10.06.2026).

Таблица 1. Сравнительная характеристика профилактических инструментов

Table 1. Comparative characteristics of preventive tools

Инструмент	Основная мишень	Преимущества	Ограничения	Оптимальная роль в программе
Пробиотики	Микробиота, слизистые барьеры, врожденный иммунитет, водная среда	Могут применяться с кормом или водой; подходят для ранних стадий; снижают стресс и поддерживают пищеварение	Эффект штамм- и средозависим; требуется контроль безопасности, дозы и жизнеспособности	Фоновая поддержка здоровья, снижение инфекционного давления, подготовка к вакцинации и стрессовым операциям
Вакцины	Специфический иммунный ответ против конкретного патогена	Высокая доказательная эффективность против ряда бактериальных и вирусных болезней; длительная защита	Не покрывают все патогены; инъекция трудоемка; возможны побочные реакции адъювантов	Целевая защита против доминирующих экономически значимых инфекций
Пребиотики и синбиотики	Субстратная поддержка полезной микробиоты	Стабильнее живых культур; могут усиливать пробиотики	Не всегда предсказуемы при разном составе рациона и микробиоты	Усиление функциональных кормов и стабилизация кишечного микробиома
Биобезопасность	Разрыв путей заноса и распространения патогенов	Действует независимо от возбудителя; снижает риск вспышек	Требуется дисциплины персонала, мониторинга и инвестиций	Базовый каркас, без которого биопрепараты дают неполный эффект

Пробиотики в аквакультуре: современное состояние применения

Под пробиотиками в аквакультуре обычно понимают живые микроорганизмы, которые при введении в достаточном количестве оказывают благоприятное действие на организм хозяина или на среду выращивания. В отличие от наземного животноводства, где пробиотик чаще связывается с кишечником, в аквакультуре он может действовать одновременно в желудочно-кишечном тракте, на слизистых поверхностях и в воде. Поэтому к пробиотикам для рыб относят не только лактобациллы и бифидобактерии, но и *Bacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Saccharomyces*, *Debaryomyces*, *Phaeobacter*, *Pseudoalteromonas*, нитрифицирующие и денитрифицирующие бактерии, фотосинтезирующие бактерии и другие функциональные группы [5–8, 42].

Формы применения пробиотиков в рыбоводстве

Кормовые пробиотические добавки — живые, спорообразующие или инактивированные микроорганизмы вводятся в гранулированный или экструдированный корм для модуляции кишечной микробиоты, повышения барьерной функции слизистой и общей резистентности рыб.

Водные пробиотики — препараты вносятся непосредственно в воду для коррекции микробного фона, подавления условно-патогенной микрофлоры, ускорения минерализации органических веществ и снижения концентрации аммиака и нитритов [43].

Синбиотики — сочетания пробиотиков и пребиотиков, обеспечивающие избирательную поддержку полезных микроорганизмов и повышение их колонизационной активности.

Парапробиотики и постбиотики — инактивированные клетки и метаболиты пробиотических штаммов, включая ферменты, бактериоцины, органические кислоты и компоненты клеточной стенки; они могут сохранять иммуномодулирующий эффект при меньших рисках неконтролируемой колонизации.

Биофлор-технологии — микробные сообщества, участвующие в утилизации азотистых соединений и органических остатков, одновременно служащие дополнительным источником белка и естественным пробиотическим фактором для гидробионтов.

Выбор формы применения зависит от вида рыбы, возраста, температуры и солености воды, схемы кормления, эпизоотической ситуации, а также от того, является ли основной задачей поддержка кишечного барьера, биоремедиация воды или снижение риска конкретной инфекции.

В настоящее время пробиотики применяются преимущественно в трех форматах: как кормовые добавки, как препараты для внесения в воду и как компоненты живых кормов для личинок. Кормовой путь наиболее удобен для молоди и товарной рыбы, поскольку позволяет задавать дозу на килограмм корма и сочетать пробиотик с пребиотиками, органическими кислотами, ферментами, витаминами и иммуномодуляторами. Внесение в воду используется в прудах, установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), инкубационных системах и при выращивании личинок, где важна стабилизация микробного фона. Обогащение артемии, коловраток и других живых кормов пробиотическими микроорганизмами дает возможность доставлять полезные бактерии личинкам и ранней молоди рыб на тех этапах развития, когда применение гранулированных кормов еще невозможно или малоэффективно.

Наиболее широко изучены представители рода *Bacillus*. Их технологическое преимущество связано со спорообразованием, устойчивостью к гранулированию и хранению, способностью продуцировать ферменты, органические кислоты, бактериоцины и другие антагонистические вещества. *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus* и *B. velezensis* используются как кандидаты или компоненты коммерческих добавок для тилапии, карпа, сома, лососевых и морских видов [5–8]. Лактобациллы и педиококки чаще рассматриваются как модуляторы кишечной микробиоты и слизистого иммунитета, однако их устойчивость к водной среде и

технологической обработке обычно ниже, чем у спорообразующих бактерий.

Дрожжи, прежде всего *Saccharomyces cerevisiae* и *Debaryomyces hansenii*, занимают промежуточное положение между пробиотиками и иммунологическими кормовыми добавками. Они могут поставлять β -глюканы, маннаны, нуклеотиды и витамины, улучшать созревание кишечника у личинок и усиливать неспецифическую резистентность. В установках замкнутого водоснабжения и прудовых хозяйствах особое значение имеют микробные препараты, которые помогают перерабатывать соединения азота и органические остатки в воде; их основная роль заключается не столько в заселении кишечника рыб, сколько в улучшении качества водной среды и стабилизации ее микробного баланса [7–8, 43].

Практическая эффективность пробиотиков зависит от исходной микробиоты хозяйства, состава корма, температуры, солености, кислородного режима, плотности посадки и стадии развития рыбы. Одни и те же штаммы могут демонстрировать выраженный эффект в лабораторном испытании и умеренный или нестабильный результат в производственных условиях. Поэтому современный подход смещается от универсальных «пробиотиков вообще» к видоспецифическим, штаммоспецифическим и технологически адаптированным решениям [6–7, 44–45, 21].

Механизмы действия пробиотиков

Конкурентное исключение и антагонизм к патогенам

Один из наиболее изученных механизмов — конкурентное исключение патогенов. Пробиотические бактерии могут занимать места адгезии на слизистых оболочках, конкурировать за железо, углеродные источники и другие лимитирующие ресурсы, а также изменять локальные условия таким образом, что рост патогена становится менее вероятным. Для *Vibrio spp.*, *Aeromonas spp.* и *Streptococcus spp.* показано, что антагонистические штаммы способны снижать адгезию к кишечной слизи, подавлять формирование биопленок и уменьшать экспрессию факторов вирулентности [5, 9, 46].

Антимикробное действие пробиотиков связано с продукцией органических кислот, перекиси водорода, бактериоцинов, лизоцимоподобных ферментов, протеаз, сидерофоров и поверхностно-активных веществ. Снижение pH в микросреде кишечника, связывание железа и нарушение бактериальной химической коммуникации, регулирующей образование биопленок и экспрессию факторов вирулентности, могут ослаблять патогенность бактерий без прямого бактерицидного давления, характерного для антибиотиков [5, 9, 46]. Такой механизм теоретически снижает риск селекции устойчивости, хотя не исключает необходимости мониторинга генов резистентности у самих пробиотических штаммов.

Следует подчеркнуть, что *in vitro*-антагонизм не является достаточным доказательством эффективности. Штамм, подавляющий рост *Aeromonas hydrophila* на агаре, может не выжить в кишечнике, не выдержать гранулирование, не адгезироваться к слизистому слою или быть вытеснен резидентной микробиотой. Поэтому современный скрининг пробиотиков должен сочетать тесты безопасности, геномный анализ, изучение метаболитов, моделирование условий пищеварительного тракта и испытания на целевом виде рыб [5, 7–8].

Это особенно важно для антиоомицетных пробиотиков: подавление *Saprolegnia* на агаре или снижение адгезии цист к слизи не гарантируют защиты рыбы в воде, где решающими становятся доза, гидрохимия, колонизация наружных покровов, органическая нагрузка и стрессовый статус стада [47].

Пробиотики и биоконтроль при сапролегниозе и других оомикозах

Пробиотические подходы при грибковых и оомицетных инфекциях рыб находятся на более ранней стадии, чем при бактериальных болезнях. Их потенциальные механизмы включают конкуренцию за субстраты и места адгезии на коже, икре и слизистых оболочках, продукцию сидерофоров, лизирующих ферментов и низкомолекулярных антагонистических веществ, модификацию микробиома поверхности икры и кожи, а также стимуляцию врожденного иммунитета. В отличие от кишечных пробиотиков, при сапролегниозе особенно важны штаммы, способные действовать в водной среде и на поверхности покровов, поскольку первичная точка контакта *Saprolegnia* — кожа, жабры и оболочка икры [48–49].

Наиболее убедительные экспериментальные данные получены для отдельных изолятов *Pseudomonas fluorescens*, применяемых через воду. Для штаммов LE87 и LE141 показана способность снижать экспериментальную инфекцию *Saprolegnia parasitica* у радужной форели, а предполагаемые механизмы включают продукцию сидерофоров и биоактивных веществ, ингибирующих рост патогена, а также стимуляцию компонентов врожденного ответа. Эти результаты важны технологически: они показывают, что антиоомицетный пробиотик необязательно должен быть кишечным кормовым штаммом; перспективны водные и кожно-ассоциированные бактерии, адаптированные к наружным биотопам рыбы [48].

Вместе с тем переносимость результатов между штаммами, видами рыб и схемами введения остается ограниченной. В исследовании *Enterococcus gallinarum* L1, *Vagococcus fluvialis* L21 и *Lactobacillus plantarum* CLFP3 все три штамма подавляли рост мицелия и прорастание цист *Saprolegnia parasitica* *in vitro*, а также снижали адгезию цист к кожной слизи. Однако при введении с кормом или через воду они не обеспечили

защиты радужной форели *in vivo*, и смертность в опыте достигала 98 % в течение 14 дней после заражения. Этот пример принципиален для практики: *in vitro*-антагонизм против *Saprolegnia* не должен рассматриваться как достаточное основание для включения препарата в производственную схему [47].

Для икры рыб перспективны биоконтрольные бактерии, способные колонизировать поверхность икринок и препятствовать прикреплению зооспор или цист *Saprolegnia*. Описаны ингибирующие свойства представителей *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Frondihabitans*, *Bacillus* и ряда других водных бактерий, однако большинство работ остается экспериментальным, а промышленная стандартизация затруднена из-за вариабельности воды, органической нагрузки, температуры и исходного микробиома инкубационных систем [49-50].

С практической точки зрения пробиотики при сапролегниозе следует рассматривать не как замену санитарным обработкам, а как часть программы снижения риска. Рациональная схема может включать: санитарный отбор и удаление погибшей икры; поддержание оптимальной проточности и кислородного режима; снижение механических повреждений; предварительное тестирование штаммов на безопасность для икры и молоди; внесение водных пробиотиков в периоды повышенного риска; мониторинг *Saprolegnia* методом микроскопии, посева или ПЦР; оценку не только смертности, но и частоты пораженных икринок, площади мицелиального роста и состояния микробиоты поверхности. Для товарной рыбы пробиотики могут дополнительно применяться в корме как иммуномодуляторы до и после стрессовых операций, но для доказательства их антиоомицетного эффекта нужны контролируемые испытания на конкретной модели «вид рыбы — возбудитель — технология выращивания».

Модуляция микробиоты и барьерных функций

Кишечная микробиота рыб участвует в ферментации субстратов, синтезе витаминов, метаболизме желчных кислот, регуляции воспаления и развитии иммунной системы. Пробиотики могут повышать долю комменсальных таксонов, увеличивать микробное разнообразие, снижать относительную представленность условно-патогенных *Proteobacteria* и поддерживать образование короткоцепочечных жирных кислот. Эти эффекты особенно важны при переходе на растительные белковые компоненты кормов, после антибиотикотерапии, при транспортировке и в периоды температурного стресса [6-7, 24].

Барьерная функция кишечника зависит от состояния межклеточных соединений эпителия, плотности и толщины слизистого слоя, продукции муцинов, локальной секреции иммуноглобулинов и активности врожденных факторов защиты.

Пробиотики могут повышать экспрессию генов, связанных с межклеточными соединениями эпителия, стимулировать продукцию муцинов и уменьшать воспалительную реакцию на кормовые антигены или патогены. Для практики это означает не только потенциальное повышение устойчивости рыб к инфекциям, но и более стабильный рост, лучшую конверсию корма и большую однородность выращиваемой группы рыб по размеру и массе [5-6, 8].

Микробиота кожи и жабр также может реагировать на пробиотические вмешательства, особенно при внесении препаратов в воду. Однако эти поверхности более чувствительны к гидрохимическим факторам, механическим повреждениям и изменениям микробного состава окружающей воды [8, 39-40]. Поэтому пробиотики, предназначенные для внесения непосредственно в воду, следует оценивать не только по их способности сохраняться в кишечнике рыб, но и по влиянию на микробный баланс воды, биофильтра, донных отложений и слизистых оболочек.

Иммуномодуляция

Пробиотики воздействуют на иммунитет рыб через микроб-ассоциированные молекулярные паттерны: пептидогликан, липотейхоевые кислоты, липополисахариды, флагеллин, β -глюканы и бактериальную ДНК. Эти структуры распознаются рецепторами врожденного иммунитета, включая Toll-подобные и NOD-подобные рецепторы, что приводит к активации фагоцитов, комплемента, лизоцима, интерферонового ответа и цитокиновой сети. При оптимальной дозе и продолжительности применения такая стимуляция повышает готовность организма к защите от инфекции, однако при избыточной дозе или слишком длительном воздействии может усиливать воспаление и повышать энергетические затраты организма [5, 9, 20].

В экспериментах на тилпии, карпе, радужной форели, соме и морских видах пробиотические добавки часто ассоциируются с повышением активности лизоцима, альтернативного пути комплемента, фагоцитарной активности, респираторного взрыва, экспрессии IL-1, TNF-, IL-10, TGF-, IgM или IgT. Однако интерпретация этих маркеров должна быть осторожной: краткосрочная активация иммунных показателей не всегда означает лучшую защиту, а длительная стимуляция может отражать воспалительный стресс [5-6, 9]. Наиболее значимым критерием эффективности пробиотиков остается сочетание иммунологических данных с результатами экспериментального заражения рыб конкретным возбудителем и оценкой производственных показателей, включая выживаемость, прирост массы и конверсию корма [5-6, 9].

Молекулярные механизмы, посредством которых пробиотики усиливают слизистый противовирусный иммунитет, начали раскрываться лишь

в последние годы. Cheng et al. [51] установили, что бациллярные пробиотики (*Bacillus spp.*) активируют мукозальный антивирусный иммунитет у телеостей через модуляцию метаболизма диглицеридов, тем самым усиливая сигнализацию врожденного иммунного ответа в кишечнике и коже. Mistri et al. [52] зафиксировали, что пробиотики значимо увеличивают продукцию IgT — иммуноглобулина, специализированного на мукозальной защите рыб, — а также активность лизоцима, комплемента и антиоксидантных ферментов в слизистых секретах. Совокупность этих данных указывает на то, что пробиотическое стимулирование мукозальных тканей может служить физиологической основой для повышения иммуногенности последующей вакцинации, особенно при мукозальных путях введения — иммерсии и орально.

Иммуномодулирующий эффект пробиотиков создает теоретическую основу для их использования до и после вакцинации. Предварительная нормализация кишечного и слизистого статуса может повысить качество ответа на антиген, а поствакцинальная поддержка — снизить стресс, улучшить кормопотребление и поддержать барьерные ткани. Однако такие схемы должны проверяться отдельно, поскольку чрезмерная стимуляция врожденного иммунитета в момент вакцинации способна изменить профиль адаптивного ответа.

Иммуностимулирующий потенциал пробиотиков как адъювантов рыбных вакцин систематически проанализирован в обзоре Soltani et al. [53], охватывающем как отдельные штаммы, так и комплексные препараты на основе лекарственных растений. Авторы показали, что пробиотики способны усиливать гуморальный и клеточный иммунный ответ на вакцинный антиген, однако степень этого усиления существенно варьирует в зависимости от вида рыбы, патогена, схемы применения и способа введения вакцины. В частности, Rahmani et al. [54] продемонстрировали на тилляпии (*Oreochromis niloticus*), что добавление пробиотиков к рациону до и после вакцинации живой аттенуированной вакциной против *Aeromonas hydrophila* повышало титры специфических антител и относительный процент выживаемости при контрольном заражении по сравнению с вакцинированными без пробиотика рыбами. Эти данные подтверждают принципиальную реализуемость пробиотико-вакцинных схем, при этом подчеркивая необходимость индивидуальной валидации для каждой комбинации штамм — вакцина — вид хозяина.

Улучшение пищеварения, роста и качества среды

Многие пробиотические штаммы продуцируют протеазы, амилазы, липазы, фитазы, целлюлазы и другие ферменты, повышающие доступность питательных веществ. Это особенно важно при использовании растительных белков, побочных продуктов

агропромышленного комплекса и рационов с повышенной долей трудноусвояемых полисахаридов. Улучшение пищеварения снижает количество непереваренного органического вещества, поступающего в воду, и тем самым косвенно уменьшает нагрузку на биофильтр и риск развития условно-патогенной микрофлоры [6-7, 43].

В прудовых и биофлор-системах пробиотики могут участвовать в трансформации органических отходов, снижении аммиака и нитритов, стабилизации pH и конкуренции с патогенными вибрионами. Однако водные пробиотики должны подбираться с учетом всей экосистемы. Неконтролируемое внесение микробных смесей может приводить к непредсказуемым изменениям биоценоза, особенно в системах с высокой органической нагрузкой или слабым водообменом [43].

Практическое значение водных пробиотиков особенно велико в хозяйствах с высокой органической нагрузкой и ограниченным водообменом. Их эффект связан не только с прямым антагонизмом к патогенам, но и с ускорением минерализации органических остатков, изменением состава биопленок, снижением концентрации аммонийного азота и нитритов, а также стабилизацией микробного сообщества воды. При этом эффективность таких препаратов необходимо оценивать с учетом температуры, солености, pH, кислородного режима, плотности посадки, применяемых дезинфектантов и совместимости штаммов с конкретной технологической системой [43].

Таким образом, пробиотики следует рассматривать как многофункциональный инструмент. Их эффект может проявляться в уменьшении смертности, повышении прироста массы, улучшении конверсии корма, снижении стрессовых реакций, стабилизации микробиоты и улучшении гидрохимических параметров. Но чем шире заявленный спектр действия, тем важнее доказательная оценка каждого конкретного штамма и технологии применения.

Эффективность пробиотической программы во многом определяется правильным выбором микроорганизма-пробиотика с учетом его биологических и технологических свойств. Различные группы пробиотических микроорганизмов существенно различаются по механизмам действия, термостабильности, совместимости с технологией производства корма и доказательной базе эффективности в аквакультуре. Основные группы пробиотиков, применяемых в рыбоводстве, и их ключевые характеристики систематизированы в таблице 2.

Технологические подходы к применению пробиотиков

Кормовое введение является наиболее стандартизируемым способом доставки пробиотиков. Препарат может наноситься поверх гранул после экструзии, включаться в премикс до гранулирования или вводиться через микрокапсулы,

Таблица 2. Основные группы пробиотиков и технологические особенности

Table 2. Main groups of probiotics and technological features

Группа	Примеры	Преимущества	Риски/ограничения	Наиболее типичное применение
Спорообразующие бактерии	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. velezensis</i>	Высокая технологическая стабильность, устойчивость к гранулированию, ферментативная активность	Необходим контроль токсигенности, генов резистентности и дозы	Кормовые добавки для молоди и товарной рыбы
Молочнокислые бактерии	<i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Enterococcus</i>	Модуляция кишечной микробиоты и слизистого иммунитета	Чувствительность к хранению и технологической обработке; видоспецифичность	Функциональные корма, синбиотики, поддержка после стресса
Дрожжи	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Debaryomyces hansenii</i>	β -глюканы, маннаны, нуклеотиды, витамины; поддержка личинок	Эффект часто связан не с живой колонизацией, а с клеточными компонентами	Личиночные корма, иммунонутриция, стрессовые периоды
Водные бактерии	<i>Phaeobacter</i> , <i>Pseudoalteromonas</i> , фотосинтезирующие и нитрифицирующие бактерии	Стабилизация микробного фона воды, антагонизм к вибрионам, улучшение азотного цикла	Сильная зависимость от гидрохимии и биоценоза	Инкубаторы, УЗВ, пруды, морские личиночные хозяйства
Парапробиотики	Инактивированные клетки <i>Lactobacillus</i> , <i>Bacillus</i> и др.	Повышенная безопасность и стабильность, отсутствие риска неконтролируемого размножения	Меньше экологических эффектов живой культуры; требуется подбор дозы	Корма для ранних стадий, системы с жесткими требованиями безопасности

защищающие клетки от температуры, кислорода и влаги. Постэкструзионное нанесение лучше сохраняет жизнеспособность, но требует равномерного распределения и защиты от смывания в воде [55]. Включение до гранулирования технологически удобно, однако подходит преимущественно для спорообразующих или термоустойчивых форм.

Микрокапсулирование рассматривается как ключевой путь повышения стабильности пробиотиков. Матрицы на основе альгината, хитозана, крахмала, желатина, липидов и белков позволяют защищать клетки от желудочной среды, контролировать высвобождение в кишечнике и сочетать пробиотик с пребиотиком [56]. Для рыб важно, чтобы капсула сохранялась в воде до поедания, не ухудшала органолептические свойства корма и разрушалась в нужном участке пищеварительного тракта.

Внесение пробиотиков непосредственно в воду применяют при выращивании личинок и ранней молоди рыб, а также в прудовых хозяйствах

и установках замкнутого водоснабжения для стабилизации микробного состава воды и улучшения санитарного состояния среды выращивания. Такой способ снижает требования к поедаемости корма и позволяет воздействовать на микробный фон до колонизации кишечника личинок. Недостатком является трудность точного дозирования на уровне отдельной рыбы и зависимость от водообмена, фильтрации, ультрафиолета, озонирования и взаимодействия с биофильтром.

Обогащение живых кормов пробиотиками особенно важно в морском рыбоводстве. Коловратки и артемия могут служить биокапсулами, доставляющими бактерии в пищеварительный тракт личинок и мальков рыб [57]. Однако пробиотик должен быть совместим с культурой живого корма, не снижать его питательную ценность и не накапливать нежелательные метаболиты. На этом этапе контроль микробиологической чистоты критически важен, поскольку личинки обладают незрелыми барьерными механизмами.

Таблица 3. Технологическая схема получения пробиотических кормовых добавок

Table 3. Technological scheme for the production of probiotic feed additives

Этап	Содержание работ	Критические показатели качества
Выделение и идентификация штаммов	Источники: кишечник здоровых рыб, вода благополучных хозяйств, донные отложения, ферментированные корма, коллекционные культуры.	Таксономическая идентификация, отсутствие контаминации, происхождение штамма.
Функциональный скрининг	Оценка антагонизма к патогенам, ферментативной активности, устойчивости к pH, желчи, соли, температуре, адгезивной способности.	Повторяемость антагонистической активности, устойчивость к условиям ЖКТ и технологии кормления.
Оценка безопасности	Тесты на гемолиз, токсигенность, факторы вирулентности, клинически значимые гены антибиотикорезистентности и патогенность для целевого вида рыб.	Безопасность для рыб, человека и водной среды.
Ферментация	Культивирование в биореакторах с контролем pH, температуры, аэрации и состава питательной среды.	Высокий титр жизнеспособных клеток или спор, стабильность производственного процесса.
Стабилизация	Концентрирование, лиофилизация, распылительная сушка, микрокапсулирование или нанесение на носитель.	Сохранность активности при хранении и транспортировке.
Введение в корм или воду	Внесение до гранулирования, постэкструзионное напыление, капсулирование или применение водорастворимой формы.	Сохранение заданного титра после технологической обработки и контакта с кормовой матрицей.
Контроль качества партии	Оценка титра, чистоты культуры, стабильности, отсутствия посторонней микрофлоры и активности против целевых патогенов.	Соответствие спецификации, воспроизводимость и прослеживаемость серии.

Перспективным направлением является использование синбиотиков — сочетаний пробиотика и пребиотического субстрата. Маннанолигосахариды, инулин, фруктоолигосахариды, β -глюканы, хитозановые производные и ферментированные растительные компоненты могут повышать приживаемость полезных бактерий и усиливать иммуномодулирующий эффект. Но синбиотик не должен оцениваться как простая сумма компонентов: иногда субстрат стимулирует не только пробиотик, но и нежелательные бактерии резидентной микробиоты.

Контроль качества пробиотических препаратов включает идентификацию штамма, количество жизнеспособных клеток, отсутствие патогенности, гемолитической активности и переносимых генов антибиотикорезистентности, стабильность при хранении, совместимость с кормом и устойчивость к технологическим операциям. Для производственных хозяйств важны также простые критерии приемки партии: срок годности, CFU на грамм, рекомендации по хранению, способ внесения и доказанные эффекты на целевом виде.

Описанные механизмы действия пробиотиков определяют их место в комплексной программе профилактики. Вакцинные технологии и варианты интеграции двух подходов рассматриваются во второй части обзора, которая будет опубликовано в следующем номере журнала «Аграрная наука».

Выводы/Conclusion

Пробиотики в современной аквакультуре представляют собой не универсальную замену лекарственным средствам или специфической иммунопрофилактике, а многофункциональный

инструмент формирования устойчивого физиологического и микробиологического фона. Их наиболее обоснованная роль состоит в поддержании кишечного, кожного и жаберного барьеров, модуляции микробиоты и врожденного иммунитета, улучшении пищеварения и кормовой конверсии, а при водном применении — в стабилизации микробного сообщества среды выращивания.

Практическая результативность пробиотической программы определяется не принадлежностью препарата к категории «пробиотиков» как таковой, а свойствами конкретного штамма, способом доставки, дозой, видом и возрастом рыбы, температурой, соленостью, качеством воды, составом рациона и исходной микробиотой хозяйства. Поэтому обязательными условиями применения должны быть точная идентификация штамма, контроль безопасности и технологической стабильности, а также подтверждение эффекта в контролируемых опытах и производственных условиях.

Особенно перспективны штамм-специфические кормовые и водные препараты, синбиотические, парaproбиотические и постбиотические решения, а также биоконтроль сапролегниоза и других оомикозов. Вместе с тем экспериментальный антагонизм *in vitro* не может рассматриваться как достаточное доказательство защитного эффекта. В системе комплексной профилактики пробиотики целесообразно рассматривать как фундамент здоровья и биобезопасности, на котором во второй части обзора анализируются возможности специфической вакцинации и интеграции обоих подходов.

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. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 — Blue Transformation in Action. Rome: FAO. 2024; 264. ISBN 978-92-5-138763-4 <https://www.doi.org/10.4060/cd0683en>
2. WOA. Aquatic Animal Health Code. 26th edition. Paris: World Organisation for Animal Health. 2024; xvii, 334, iii. https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en_csaa_2024.pdf
3. Tamas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Transforming Aquaculture through Vaccination: A Review on Recent Developments and Milestones. *Vaccines*. 2024; 12(7): 732. <https://doi.org/10.3390/vaccines12070732>
4. Rahayu S. et al. Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1455905. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905>
5. Mohammed E.A.H., Ahmed A.E.M., Kovács B., Pál K. The Significance of Probiotics in Aquaculture: A Review of Research Trend and Latest Scientific Findings. *Antibiotics*. 2025; 14(3): 242. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242>
6. Calcagnile M., Tredici S.M., Alifano P. A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon*. 2024; 10(24): e40892. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892>
7. Hoseinifar S.H., Sun Y.Z., Wang A., Zhou Z. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2429. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429>
8. Torres-Maravilla E. et al. Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*. 2024; 12(3): 626. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626>
9. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms Used by Probiotics to Confer Pathogen Resistance to Teleost Fish. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 653025. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.653025>

REFERENCES

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 — Blue Transformation in Action. Rome: FAO. 2024; 264. ISBN 978-92-5-138763-4 <https://www.doi.org/10.4060/cd0683en>
2. WOA. Aquatic Animal Health Code. 26th edition. Paris: World Organisation for Animal Health. 2024; xvii, 334, iii. https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en_csaa_2024.pdf
3. Tamas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Transforming Aquaculture through Vaccination: A Review on Recent Developments and Milestones. *Vaccines*. 2024; 12(7): 732. <https://doi.org/10.3390/vaccines12070732>
4. Rahayu S. et al. Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1455905. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905>
5. Mohammed E.A.H., Ahmed A.E.M., Kovács B., Pál K. The Significance of Probiotics in Aquaculture: A Review of Research Trend and Latest Scientific Findings. *Antibiotics*. 2025; 14(3): 242. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242>
6. Calcagnile M., Tredici S.M., Alifano P. A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon*. 2024; 10(24): e40892. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892>
7. Hoseinifar S.H., Sun Y.Z., Wang A., Zhou Z. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2429. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429>
8. Torres-Maravilla E. et al. Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*. 2024; 12(3): 626. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626>
9. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms Used by Probiotics to Confer Pathogen Resistance to Teleost Fish. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 653025. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.653025>

10. Charo F.J., Mbutia P.G., Beboru L.C., Nguta J.M. Influence of aquaculture management practices and water quality on bacterial occurrence in fish culture units in Kenya. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2023; 11(2-A): 1–7. <https://www.doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2782>
11. Wanja D.W. et al. Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International*. 2020; 2020: 6839354. <https://www.doi.org/10.1155/2020/6839354>
12. Mramba R.P., Kahindi E.J. Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16753. <https://www.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753>
13. Ma J., Bruce T.J., Jones E.M., Cain K.D. A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms*. 2019; 7(11): 569. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110569>
14. Brudeseth B.E. et al. Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1759–1768. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.05.029>
15. Sommerset I., Krossøy B., Biering E., Frost P. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*. 2005; 4(1): 89–101. <https://doi.org/10.1586/14760584.4.1.89>
16. Plant K.P., LaPatra S.E. Advances in fish vaccine delivery. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1256–1262. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.007>
17. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Advances in Vaccine Adjuvants for Teleost Fish: Implications for Aquatic Welfare and the Potential of Nanoparticle-Based Formulations. *Vaccines*. 2024; 12(12): 1347. <https://doi.org/10.3390/vaccines12121347>
18. Mutoloki S., Munang'andu H.M., Evensen Ø. Oral Vaccination of Fish – Antigen Preparations, Uptake, and Immune Induction. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 519. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00519>
19. Embregts C.W.E., Forlenza M. Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species. *Developmental & Comparative Immunology*. 2016; 64: 118–137. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.024>
20. Tafalla C., Bøgvold J., Dalmø R.A. Adjuvants and immunostimulants in fish vaccines: Current knowledge and future perspectives. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1740–1750. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.02.029>
21. Gudding R., Van Muiswinkel W.B. A history of fish vaccination: Science-based disease prevention in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1683–1688. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.031>
22. Gómez G.D., Balcázar J.L. A review on the interactions between gut microbiota and innate immunity of fish. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*. 2008; 52(2): 145–154. <https://www.doi.org/10.1111/j.1574-695X.2007.00343.x>
23. Nayak S.K. Role of gastrointestinal microbiota in fish. *Aquaculture Research*. 2010; 41(11): 1553–1573. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02546.x>
24. Merrifield D.L. et al. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. *Aquaculture*. 2010; 302(1–2): 1–18. <https://www.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.02.007>
25. Newaj-Fyzul A., Austin B. Probiotics, immunostimulants, plant products and oral vaccines, and their role as feed supplements in the control of bacterial fish diseases. *Journal of Fish Diseases*. 2015; 38(11): 937–955. <https://www.doi.org/10.1111/jfd.12313>
26. Merrifield D., Ringø E. (eds.). *Aquaculture Nutrition: Gut Health, Probiotics and Prebiotics*. Oxford: Wiley-Blackwell. 2014; XVI, 465. ISBN 978-0-470-67271-6
27. Ringø E., Hoseinifar S.H., Ghosh K., Doan H.V., Beck B.R., Song S.K. Lactic Acid Bacteria in Finfish—An Update. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 1818. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.01818>
28. Lindholm-Lehto P.C., Pylkkö P. Saprolegniosis in aquaculture and how to control it? *Aquaculture, Fish and Fisheries*. 2024; 4(4): e2200. <https://www.doi.org/10.1002/aff2.200>
29. Earle G., Hintz W. New Approaches for Controlling Saprolegnia parasitica, the Causal Agent of a Devastating Fish Disease *Tropical Life Sciences Research*. 2014; 25(2): 101–109.
30. Beckmann M.J., Saraiva M., McLaggan D., Pottinger T.G., van West P. Saprolegnia infection after vaccination in Atlantic salmon is associated with differential expression of stress and immune genes in the host. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 106: 1095–1105. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.08.051>
31. Afzali S.F., Daud H.H.M., Sharifpour I., Afsharnasab M., Shankar S. Experimental infection of Aphanomyces invadans and susceptibility in seven species of tropical fish. *Veterinary World*. 2015; 8(9): 1038–1044. <https://www.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1038-1044>
32. González-Palacios C., Fregeneda-Grandes J.-M., Aller-Gancedo J.-M. Possible Mechanisms of Action of Two Pseudomonas fluorescens Isolates as Probiotics on Saprolegniosis Control in Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss Walbaum). *Animals*. 2020; 10(9): 1507. <https://doi.org/10.3390/ani10091507>
33. Pavić D., Geček S., Miljanović A., Grbin D., Bielen A. Characterization of Bacterial Communities on Trout Skin and Eggs in Relation to Saprolegnia parasitica Infection Status. *Microorganisms*. 2024; 12(8): 1733. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081733>
34. Verschuere L., Rombaut G., Sorgeloos P., Verstraete W. Probiotic Bacteria as Biological Control Agents in Aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2000; 64(4): 655–671. <https://www.doi.org/10.1128/MMBR.64.4.655-671.2000>
35. Austin B., Austin D.A. *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. 6th ed. Cham: Springer. 2016; XXXV, 732. ISBN 978-3-319-32673-3 <https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
36. Magnadóttir B. Innate immunity of fish (overview). *Fish & Shellfish Immunology*. 2006; 20(2): 137–151. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006>
37. Salinas I., Parra D. Fish mucosal immunity: intestine. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 135–170. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00006-6>
38. Gomez D., Sunyer J.O., Salinas I. The mucosal immune system of fish: The evolution of tolerating commensals while fighting pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1729–1739. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.032>
10. Charo F.J., Mbutia P.G., Beboru L.C., Nguta J.M. Influence of aquaculture management practices and water quality on bacterial occurrence in fish culture units in Kenya. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2023; 11(2-A): 1–7. <https://www.doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2782>
11. Wanja D.W. et al. Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International*. 2020; 2020: 6839354. <https://www.doi.org/10.1155/2020/6839354>
12. Mramba R.P., Kahindi E.J. Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16753. <https://www.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753>
13. Ma J., Bruce T.J., Jones E.M., Cain K.D. A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms*. 2019; 7(11): 569. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110569>
14. Brudeseth B.E. et al. Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1759–1768. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.05.029>
15. Sommerset I., Krossøy B., Biering E., Frost P. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*. 2005; 4(1): 89–101. <https://doi.org/10.1586/14760584.4.1.89>
16. Plant K.P., LaPatra S.E. Advances in fish vaccine delivery. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1256–1262. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.007>
17. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Advances in Vaccine Adjuvants for Teleost Fish: Implications for Aquatic Welfare and the Potential of Nanoparticle-Based Formulations. *Vaccines*. 2024; 12(12): 1347. <https://doi.org/10.3390/vaccines12121347>
18. Mutoloki S., Munang'andu H.M., Evensen Ø. Oral Vaccination of Fish – Antigen Preparations, Uptake, and Immune Induction. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 519. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00519>
19. Embregts C.W.E., Forlenza M. Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species. *Developmental & Comparative Immunology*. 2016; 64: 118–137. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.024>
20. Tafalla C., Bøgvold J., Dalmø R.A. Adjuvants and immunostimulants in fish vaccines: Current knowledge and future perspectives. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1740–1750. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.02.029>
21. Gudding R., Van Muiswinkel W.B. A history of fish vaccination: Science-based disease prevention in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1683–1688. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.031>
22. Gómez G.D., Balcázar J.L. A review on the interactions between gut microbiota and innate immunity of fish. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*. 2008; 52(2): 145–154. <https://www.doi.org/10.1111/j.1574-695X.2007.00343.x>
23. Nayak S.K. Role of gastrointestinal microbiota in fish. *Aquaculture Research*. 2010; 41(11): 1553–1573. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02546.x>
24. Merrifield D.L. et al. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. *Aquaculture*. 2010; 302(1–2): 1–18. <https://www.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.02.007>
25. Newaj-Fyzul A., Austin B. Probiotics, immunostimulants, plant products and oral vaccines, and their role as feed supplements in the control of bacterial fish diseases. *Journal of Fish Diseases*. 2015; 38(11): 937–955. <https://www.doi.org/10.1111/jfd.12313>
26. Merrifield D., Ringø E. (eds.). *Aquaculture Nutrition: Gut Health, Probiotics and Prebiotics*. Oxford: Wiley-Blackwell. 2014; XVI, 465. ISBN 978-0-470-67271-6
27. Ringø E., Hoseinifar S.H., Ghosh K., Doan H.V., Beck B.R., Song S.K. Lactic Acid Bacteria in Finfish—An Update. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 1818. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.01818>
28. Lindholm-Lehto P.C., Pylkkö P. Saprolegniosis in aquaculture and how to control it? *Aquaculture, Fish and Fisheries*. 2024; 4(4): e2200. <https://www.doi.org/10.1002/aff2.200>
29. Earle G., Hintz W. New Approaches for Controlling Saprolegnia parasitica, the Causal Agent of a Devastating Fish Disease *Tropical Life Sciences Research*. 2014; 25(2): 101–109.
30. Beckmann M.J., Saraiva M., McLaggan D., Pottinger T.G., van West P. Saprolegnia infection after vaccination in Atlantic salmon is associated with differential expression of stress and immune genes in the host. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 106: 1095–1105. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.08.051>
31. Afzali S.F., Daud H.H.M., Sharifpour I., Afsharnasab M., Shankar S. Experimental infection of Aphanomyces invadans and susceptibility in seven species of tropical fish. *Veterinary World*. 2015; 8(9): 1038–1044. <https://www.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1038-1044>
32. González-Palacios C., Fregeneda-Grandes J.-M., Aller-Gancedo J.-M. Possible Mechanisms of Action of Two Pseudomonas fluorescens Isolates as Probiotics on Saprolegniosis Control in Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss Walbaum). *Animals*. 2020; 10(9): 1507. <https://doi.org/10.3390/ani10091507>
33. Pavić D., Geček S., Miljanović A., Grbin D., Bielen A. Characterization of Bacterial Communities on Trout Skin and Eggs in Relation to Saprolegnia parasitica Infection Status. *Microorganisms*. 2024; 12(8): 1733. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081733>
34. Verschuere L., Rombaut G., Sorgeloos P., Verstraete W. Probiotic Bacteria as Biological Control Agents in Aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2000; 64(4): 655–671. <https://www.doi.org/10.1128/MMBR.64.4.655-671.2000>
35. Austin B., Austin D.A. *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. 6th ed. Cham: Springer. 2016; XXXV, 732. ISBN 978-3-319-32673-3 <https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
36. Magnadóttir B. Innate immunity of fish (overview). *Fish & Shellfish Immunology*. 2006; 20(2): 137–151. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006>
37. Salinas I., Parra D. Fish mucosal immunity: intestine. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 135–170. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00006-6>
38. Gomez D., Sunyer J.O., Salinas I. The mucosal immune system of fish: The evolution of tolerating commensals while fighting pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1729–1739. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.032>

39. Esteban M.Á., Cerezuela R. Fish mucosal immunity: skin. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 67–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00004-2>
40. Mondal H., Thomas J. A review on the recent advances and application of vaccines against fish pathogens in aquaculture. *Aquaculture International*. 2022; 30(4): 1971–2000. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-022-00884-w>
41. Hlordzi V. et al. The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100503. <https://www.doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>
42. Kumar A. et al. Current Challenges of Vaccination in Fish Health Management. *Animals*. 2024; 14(18): 2692. <https://doi.org/10.3390/ani14182692>
43. Hoseinifar S.H., Faheem M., Liaqat I., Van Doan H., Ghosh K., Ringø E. Promising Probiotic Candidates for Sustainable Aquaculture: An Updated Review. *Animals*. 2024; 14(24): 3644. <https://doi.org/10.3390/ani14243644>
44. Цицкиева К.Р., Бетляева Ф.Х., Маркин Ю.В. Использование пробиотика «Бацифолин А» при выращивании радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в условиях интенсивного рыбоводства. *Рыбное хозяйство*. 2024; (6): 83–89. EDN NPEWKI
45. Hopo M.G., Mabrok M., Abu-Elala N., Yu Y. Navigating Fish Immunity: Focus on Mucosal Immunity and the Evolving Landscape of Mucosal Vaccines. *Biology*. 2024; 13(12): 980. <https://doi.org/10.3390/biology13120980>
46. Fachri M. et al. Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: a sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention—a review. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1499228. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1499228>
47. Gatesoupe F.J. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*. 1999; 180(1–2): 147–165. [https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00187-8](https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00187-8)
48. Fregeneda-Grandes J.-M., González-Palacios C., Pérez-Sánchez T., Padilla D., Real F., Aller-Gancedo J.-M. Limited Probiotic Effect of *Enterococcus gallinarum* L1, *Vagococcus fluvialis* L21 and *Lactobacillus plantarum* CLFP3 to Protect Rainbow Trout against Saprolegniosis. *Animals*. 2023; 13(5): 954. <https://doi.org/10.3390/ani13050954>
49. Lategan M.J., Torpy F.R., Gibson L.F. Control of saprolegniosis in the eel *Anguilla australis* Richardson, by *Aeromonas* media strain A199. *Aquaculture*. 2004; 240(1–4): 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.009>
50. Irianto A., Austin B. Probiotics in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*. 2002; 25(11): 633–642. <https://www.doi.org/10.1046/j.1365-2761.2002.00422.x>
51. Mistri A., Sardar S. Srivastava A. Mucosal immunity of farmed fish within aquaculture: Mechanisms, challenges, and advances. *Aquaculture International*. 2025; 33(7): 665. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-025-02353-6>
52. Miryala K.R., Swain B. Advances and Challenges in *Aeromonas hydrophila* Vaccine Development: Immunological Insights and Future Perspectives. *Vaccines*. 2025; 13(2): 202. <https://doi.org/10.3390/vaccines13020202>
53. Soltani M., Lymbery A., Song S.K., Shekarabi P.H. Adjuvant effects of medicinal herbs and probiotics for fish vaccines. *Reviews in Aquaculture*. 2019; 11(4): 1325–1341. <https://www.doi.org/10.1111/raq.12295>
54. Aly S.M., Al Zohairy M.A., Rahmani A.H., Fathi M., Atti N.M.A. Trials to improve the response of *Oreochromis niloticus* to *Aeromonas hydrophila* vaccine using immunostimulants (garlic, Echinacea) and probiotics (Organic GreenTM and Vet-YeastTM). *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(21): 989–994. <https://www.doi.org/10.5897/AJB2015.15155>
55. Gatesoupe F.-J. Updating the Importance of Lactic Acid Bacteria in Fish Farming: Natural Occurrence and Probiotic Treatments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 2008; 14(1–3): 107–114. <https://www.doi.org/10.1159/000106089>
56. Ghani M.U. et al. Unveiling the multifaceted role of toll-like receptors in immunity of aquatic animals: pioneering strategies for disease management. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1378111. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2024.1378111>
57. Paveljšek D., Ivičak-Kocjan K., Treven P., Benčina M., Jerala R., Rogelj I. Distinctive probiotic features share common TLR2-dependent signalling in intestinal epithelial cells. *Cellular Microbiology*. 2021; 23(1): e13264. <https://www.doi.org/10.1111/cmi.13264>
39. Esteban M.Á., Cerezuela R. Fish mucosal immunity: skin. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 67–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00004-2>
40. Mondal H., Thomas J. A review on the recent advances and application of vaccines against fish pathogens in aquaculture. *Aquaculture International*. 2022; 30(4): 1971–2000. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-022-00884-w>
41. Hlordzi V. et al. The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100503. <https://www.doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>
42. Kumar A. et al. Current Challenges of Vaccination in Fish Health Management. *Animals*. 2024; 14(18): 2692. <https://doi.org/10.3390/ani14182692>
43. Hoseinifar S.H., Faheem M., Liaqat I., Van Doan H., Ghosh K., Ringø E. Promising Probiotic Candidates for Sustainable Aquaculture: An Updated Review. *Animals*. 2024; 14(24): 3644. <https://doi.org/10.3390/ani14243644>
44. Tsitsikieva K.R., Betlyayeva F.H., Markin Yu.V. Use of the probiotic «Bacifolin A» in growing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under intensive fish farming conditions. *Fisheries*. 2024; (6): 83–89 (in Russian). EDN NPEWKI
45. Hopo M.G., Mabrok M., Abu-Elala N., Yu Y. Navigating Fish Immunity: Focus on Mucosal Immunity and the Evolving Landscape of Mucosal Vaccines. *Biology*. 2024; 13(12): 980. <https://doi.org/10.3390/biology13120980>
46. Fachri M. et al. Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: a sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention—a review. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1499228. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1499228>
47. Gatesoupe F.J. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*. 1999; 180(1–2): 147–165. [https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00187-8](https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00187-8)
48. Fregeneda-Grandes J.-M., González-Palacios C., Pérez-Sánchez T., Padilla D., Real F., Aller-Gancedo J.-M. Limited Probiotic Effect of *Enterococcus gallinarum* L1, *Vagococcus fluvialis* L21 and *Lactobacillus plantarum* CLFP3 to Protect Rainbow Trout against Saprolegniosis. *Animals*. 2023; 13(5): 954. <https://doi.org/10.3390/ani13050954>
49. Lategan M.J., Torpy F.R., Gibson L.F. Control of saprolegniosis in the eel *Anguilla australis* Richardson, by *Aeromonas* media strain A199. *Aquaculture*. 2004; 240(1–4): 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.009>
50. Irianto A., Austin B. Probiotics in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*. 2002; 25(11): 633–642. <https://www.doi.org/10.1046/j.1365-2761.2002.00422.x>
51. Mistri A., Sardar S. Srivastava A. Mucosal immunity of farmed fish within aquaculture: Mechanisms, challenges, and advances. *Aquaculture International*. 2025; 33(7): 665. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-025-02353-6>
52. Miryala K.R., Swain B. Advances and Challenges in *Aeromonas hydrophila* Vaccine Development: Immunological Insights and Future Perspectives. *Vaccines*. 2025; 13(2): 202. <https://doi.org/10.3390/vaccines13020202>
53. Soltani M., Lymbery A., Song S.K., Shekarabi P.H. Adjuvant effects of medicinal herbs and probiotics for fish vaccines. *Reviews in Aquaculture*. 2019; 11(4): 1325–1341. <https://www.doi.org/10.1111/raq.12295>
54. Aly S.M., Al Zohairy M.A., Rahmani A.H., Fathi M., Atti N.M.A. Trials to improve the response of *Oreochromis niloticus* to *Aeromonas hydrophila* vaccine using immunostimulants (garlic, Echinacea) and probiotics (Organic GreenTM and Vet-YeastTM). *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(21): 989–994. <https://www.doi.org/10.5897/AJB2015.15155>
55. Gatesoupe F.-J. Updating the Importance of Lactic Acid Bacteria in Fish Farming: Natural Occurrence and Probiotic Treatments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 2008; 14(1–3): 107–114. <https://www.doi.org/10.1159/000106089>
56. Ghani M.U. et al. Unveiling the multifaceted role of toll-like receptors in immunity of aquatic animals: pioneering strategies for disease management. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1378111. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2024.1378111>
57. Paveljšek D., Ivičak-Kocjan K., Treven P., Benčina M., Jerala R., Rogelj I. Distinctive probiotic features share common TLR2-dependent signalling in intestinal epithelial cells. *Cellular Microbiology*. 2021; 23(1): e13264. <https://www.doi.org/10.1111/cmi.13264>

ОБ АВТОРАХ

Марина Геворковна Маноян

кандидат ветеринарных наук, начальник
отдела микологии
mycology@vgnki.ru

Анна Николаевна Иванова

кандидат экономических наук, заведующий отделом
научного планирования и НИР
a.ivanova@vgnki.ru

Александр Николаевич Панин

доктор ветеринарных наук, профессор, академик
Российской академии наук
alexanderpanin5083@gmail.com

Аркадий Васильевич Иванов

доктор биологических наук, профессор, член-
корреспондент Российской академии наук
a.ivanov@vgnki.ru

Всероссийский государственный центр качества и
стандартизации лекарственных средств для животных и
кормов,
Звенигородское шоссе, д. 5, Москва, 123022, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Marina Gevorkovna Manoyan

Candidate of Veterinary Sciences, Chief of Mycology
Department
mycology@vgnki.ru

Anna Nikolaevna Ivanova

Candidate of Economics Science, Head of the Scientific
Researches Department
a.ivanova@vgnki.ru

Alexander Nikolaevich Panin

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, full member of the
Russian Academy of Science
alexanderpanin5083@gmail.com

Arkadiy Vasilevich Ivanov

Doctor of Biological Sciences, Professor, part-member of the
Russian Academy of Science
a.ivanov@vgnki.ru

The Russian State Center for Animal Feed and Drug
Standardization and Quality,
5 Zvenigorodskoe highway, Moscow, 123022, Russia

Я.М. Ребезов¹ ✉М.Б. Ребезов²¹Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ yaroslavreb@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.03.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Ребезов Я.М., Ребезов М.Б.

Yaroslav M. Rebezov¹ ✉Maksim B. Rebezov²¹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia²Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ yaroslavreb@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.03.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Rebezov Ya.M., Rebezov M.B.

Оценка биологических и химических рисков безопасности мяса бурого медведя (*Ursus arctos*): научный обзор

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Бурый медведь (*Ursus arctos*) является одним из наиболее значимых охотничьих видов на территории России, представляя собой ценный трофей и источник высококачественного мяса. Мясо медведя традиционно рассматривается как экологически чистый продукт, лишенный гормонов и антибиотиков, однако его добыча и использование сопряжены с рядом ветеринарно-санитарных требований и потенциальных рисков, что требует всестороннего изучения его безопасности.

Методы. Поиск потенциально релевантных статей проводили по ключевым словам в электронных базах данных и в открытом доступе сети Internet.

Результаты. Как всеядный хищник и природный резервуар паразитарных инвазий, медведь может представлять опасность в качестве источника возбудителей заболеваний, прежде всего, трихинеллеза. Показано, что качество и безопасность мяса варьируют в зависимости от региона добычи, сезона и кормовой базы животного, а также подвержены влиянию антропогенных факторов, включая загрязнение среды обитания тяжелыми металлами и радионуклидами. Полученные данные обосновывают необходимость улучшения методики ветеринарного контроля продукции охотничьего промысла для минимизации рисков для здоровья потребителей. Требуются дополнительные исследования по ряду факторов безопасности.

Ключевые слова: медведи (*Ursidae*), мясо промыслового животного, безопасность мяса, радионуклиды, тяжелые металлы, *Trichinella*

Для цитирования: Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Оценка биологических и химических рисков безопасности мяса бурого медведя (*Ursus arctos*): научный обзор. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 66–76.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-66-76>

Assessment of Biological and Chemical Risks to the Safety of Brown Bear (*Ursus arctos*) Meat: A Scientific Review

ABSTRACT

Relevance. The brown bear (*Ursus arctos*) is one of the most important game species in Russia, representing a valuable trophy and a source of high-quality meat. Bear meat is traditionally considered an environmentally friendly product, free of hormones and antibiotics. However, its harvesting and consumption are associated with a number of veterinary and sanitary requirements and potential risks, necessitating a comprehensive safety study.

Methods. A keyword search for potentially relevant articles was conducted in electronic databases and open-access internet searches.

Results. As an omnivorous predator and a natural reservoir of parasitic infestations, the bear may pose a risk as a source of pathogens, primarily trichinosis. The quality and safety of bear meat have been shown to vary depending on the region of harvest, season, and the animal's food supply, and are also influenced by anthropogenic factors, including environmental pollution with heavy metals and radionuclides. The data obtained substantiate the need to improve veterinary inspection methods for hunting products to minimize consumer health risks. Further research is needed on a number of safety factors.

Key words: Bears (*Ursidae*), game meat, meat safety, radionuclides, heavy metals, *Trichinella*

For citation: Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Assessment of Biological and Chemical Risks to the Safety of Brown Bear (*Ursus arctos*) Meat: A Scientific Review. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 66–76 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-66-76>

Введение/Introduction

Формирование рациона за счет широкого ассортимента пищевых продуктов является ключевым условием для удовлетворения потребностей организма во всем спектре макро- и микронутриентов [1]. Дикие животные использовались в качестве источника белка на протяжении всей эволюционной истории человека. Сегодня мясо диких животных – это альтернатива продукции животноводства. Мясо дичи отличается от мяса домашних животных по физико-химическим характеристикам и питательной ценности [2, 3]. Благодаря низкой жирности, высокому содержанию белка и сбалансированному профилю жирных кислот мясо дичи представляет собой ценный источник нутриентов, что обуславливает его потенциальное положительное влияние на здоровье человека [4, 5].

Отсутствие в мясе диких животных гормональных препаратов и антибиотиков, широко применяемых в промышленном животноводстве, позволяет рассматривать данный продукт не только как источник эссенциальных нутриентов, но и как компонент функционального или специализированного питания, обладающий повышенной биологической ценностью и определенной экзотичностью для потребителя [2, 6].

Одним из наиболее распространенных представителей диких животных, добываемых на охоте в России, является бурый медведь (*Ursus arctos*). Бурый медведь обладает наиболее обширным ареалом среди всех представителей семейства медвежьих, будучи распространенным на территории более 45 государств — от Северной Америки до Северной Азии [7]. Бурый медведь принадлежит к числу крупнейших хищников России. Его ареал охватывает большую часть лесных массивов центральных регионов, Сибири и тайги (за исключением южных территорий), что, в свою очередь, обуславливает широкое распространение охоты на этого зверя^{1, 2}. Живая масса взрослых особей в среднем колеблется от 80 до 700 кг^{1, 2} [1, 7, 8]. Взрослый самец может иметь массу до 700 кг и длину тела до 3 м [1]. Другим представителем семейства медвежьих, имеющим статус охотничьего вида, является гималайский медведь (*Ursus tibetanus*), распространенный в Приморском крае и на юге Хабаровского края³ [9]. Высокие трофейные качества делают медведя особо ценным объектом охоты, а значит его мясо будет неотъемлемой ценной частью добычи [8].

Будучи факультативными всеядными [10], медведи способны переключаться между плотоядным и травоядным типами питания в зависимости от доступности кормов [11, 12]. Различия в питании в местах обитания, занимаемых медведями, влияет на популяционные показатели: наблюдаются достоверные различия в размерах тела, величине помета, длительности межпометных интервалов и плотности популяций [11, 13].

В отличие от дикого кабана, бурый медведь является охраняемым видом на большей части своего ареала. В большинстве стран его мясо не поступает в коммерческий оборот, однако существуют исключения, связанные с регулированием численности популяции.

В России основными законами, регулирующим добычу медведя, являются Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»⁴, Приказ Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты»⁵ и приказ Минприроды России от 17.05.2010 № 164 «Об утверждении перечня видов охотничьих ресурсов, добыча которых осуществляется в соответствии с лимитами их добычи»³. Для медведя (бурого и гималайского (белогрудого)) существуют определенные сроки и лимит добычи по регионам, регулируемые на уровне субъектов Российской Федерации⁶ [14].

Обязательность проведения ветеринарно-санитарной экспертизы в отношении переработанной пищевой продукции животного происхождения регламентируется статьей 30 ТР ТС 021/2011⁷. Порядок проведения ветеринарно-санитарной экспертизы для добытого медведя установлен Приказом Минсельхоза России от 28 апреля 2022 г. № 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»⁸. Специфика ветеринарно-санитарной экспертизы продукции промысловых диких животных обусловлена невозможностью проведения предубойного осмотра. В связи с этим ключевое значение приобретают послеубойное исследование туш и внутренних органов, а также лабораторный контроль [14].

¹ Сугробов В.Ю. Охота на медведя. М: Аквариум-Принт, 2005.

² Охота на медведей. Справочник. На берлоге, облава, на овсах, с лайками. Серия: Охотник. 1997.

³ Приказ Минприроды России от 17.05.2010 № 164 «Об утверждении перечня видов охотничьих ресурсов, добыча которых осуществляется в соответствии с лимитами их добычи»

⁴ Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

⁵ Приказ Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты»

⁶ Лимит и квоты добычи в России на 2024–2025 год (URL: https://rhm-magazine.ru/magazine/2025/04_151_2025/limit_i_kvoty_dobychi_v_rossii/?ysclid=mm6v2woaoe448939002)

⁷ ТР ТС 021/2011. «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». С изменениями и дополнениями от: 11, 25 июня 2013 г., 10 июня 2014 г., 8 августа, 24 декабря 2019 г., 14 июля 2021 г., 25 ноября 2022 г., 23 июня 2023 г., 22 апреля 2024 г.

⁸ Приказ Минсельхоза России от 28 апреля 2022 г. № 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»

В странах Европейского союза коммерческая реализация мяса бурого медведя запрещена в соответствии с Директивой о местообитаниях (Habitats Directive)⁹, которая строго охраняет данный вид. Коммерческая деятельность, связанная с медведями или медвежатинами, в целом запрещена Регламентом ЕС № 338/97¹⁰. Мясо медведя классифицируется как «мясо крупной дичи» («large wild game») в соответствии с Регламентом ЕС № 853/2004¹¹ и подлежит обязательному послеубойному ветеринарному осмотру на специализированных предприятиях, а также обязательному исследованию на наличие личинок *Trichinella* spp. в соответствии с Регламентом (ЕС) 2015/1375¹². Исключения возможны только на основании индивидуальных разрешений, выдаваемых национальными органами CITES в соответствии с регламентом¹⁰. Так, в апреле 2025 года правительство Словакии утвердило план по отстрелу 350 особей бурого медведя (что составляет приблизительно 25% оценочной численности популяции) в связи с участвовавшими нападениями на людей¹³.

В США и Канаде добыча медведя (в первую очередь черного медведя, *Ursus americanus*) регулируется на уровне штатов (провинций и территорий в Канаде) в рамках общей системы управления дикой природой. Базовым принципом является то, что медведь рассматривается как объект охоты («game species»), и его добыча разрешена при наличии лицензии и соблюдении сезонных ограничений, квот и методов охоты, устанавливаемых соответствующими департаментами природных ресурсов штатов¹⁴. Например, в штате Флорида (США) в 2025 году был проведен ограниченный сезон (после перерыва в 10 лет): выдано 172 разрешения, что позволило добыть 52 медведя, при этом все туши были осмотрены сотрудниками Комиссии по охране рыб и дикого мяса (FWC) для сбора биологических данных¹⁵. В Канаде на федеральном уровне действует Wild Animal and Plant Protection and Regulation of Interprovincial and International Trade Act¹⁶, регулирующий торговлю мясом медведя. Добыча осуществляется на основе лицензий, с четко установленными сезонами, квотами и географическими зонами управления.

В целом можно сделать вывод о том, что в мировом масштабе рынок мяса медведя практически отсутствует из-за законодательных ограничений.

Несмотря на восприятие дичи как экологически чистого продукта, ее потребление сопряжено с потенциальными угрозами для здоровья человека. Мясо диких животных может быть источником возбудителей зоонозных инфекций и паразитарных заболеваний, а также накапливать повышенные уровни тяжелых металлов и радионуклидов. Дополнительным фактором риска выступает незаконная охота [15–17].

Существующий объем научных данных, характеризующих безопасность мяса медведя, остается фрагментарным и недостаточным, что создает потенциальные риски для здоровья потребителей.

Цель данного обзора — обобщение и систематизация научных данных о биологических (паразитарных) и химических рисках, связанных с безопасностью мяса бурого медведя (*Ursus arctos*), для выявления приоритетных направлений ветеринарно-санитарного контроля.

Материал и методы исследования / Material and methods

Проведен систематизированный поиск литературы без ограничений по типу источника и языку исследования.

Поиск потенциально релевантных материалов осуществлялся, по ключевым словам, в электронных базах данных Scopus¹⁷, eLibrary¹⁸ PubMed¹⁹, Google Scholar²⁰, Science Direct²¹, доступным нормативно-правовым актам стран и источникам в открытом доступе сети Internet.

Глубина поиска составила 25 лет (2000–2025 гг.). Ключевые слова: «bear meat», «*Ursus arctos*», «game meat», «*Trichinella*», «heavy metals», «radionuclides» (и их русскоязычные аналоги).

Критерии включения: наличие экспериментальных данных или систематизированных обзоров по безопасности мяса медведей; публикации в рецензируемых изданиях; соответствие тематике исследования.

Исключались работы без количественных данных, тезисы докладов, редакционные статьи и новостные заметки.

Отбор источников проводили в три этапа: по заголовкам, аннотациям и полнотекстовый анализ.

Данные извлекали по стандартизированной форме (авторы, год, регион, объект, вид,

⁹ Council Directive No 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora OJ L 206.1992; 7–50. (URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj>)

¹⁰ Council Regulation (EC) No 338/97 of 9 December 1996 on the protection of species of wild fauna and flora by regulating trade therein OJ L 61. 1997; 1–69. (URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/1997/338/oj/eng>)

¹¹ Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin OJ L 139. 2004; 55–205 (URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/853/oj/eng>)

¹² Commission Implementing Regulation (EU) 2015/1375 of 10 August 2015 laying down specific rules on official controls for *Trichinella* in meat (codification) (Text with EEA relevance) OJ L 212. 2015; 7–34. (URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2015/1375/oj/eng)

¹³ (URL: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/P-10-2025-002233_EN.html)

¹⁴ (URL: <https://legalclarity.org/where-is-bear-hunting-legal-in-north-america/>)

¹⁵ (URL: <https://myfwc.com/news/all-news/black-bear-harvest-fact-sheet-0226/>)

¹⁶ (URL: <https://lois-laws.justice.gc.ca/eng/acts/W-8.5/index.html>)

¹⁷ (URL: <https://www.elsevier.com/products/scopus>)

¹⁸ (URL: <https://elibrary.ru>)

¹⁹ (URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>)

²⁰ (URL: <https://scholar.google.com>)

²¹ (URL: <https://www.sciencedirect.com>)

показатели безопасности, методы, результаты) и систематизировали по тематическим блокам: биологические, паразитарные и химические риски.

Были изучены списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных источников информации.

В финальный анализ включены 64 публикации.

Данные были проанализированы, чтобы оценить и систематизировать сведения о безопасности и потенциальных рисках реализации мяса промыслового медведя.

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

В соответствии с целью обзора результаты систематизированы по трем основным тематическим блокам:

- органолептические и физико-химические характеристики мяса медведя;
- инфекционные и паразитарные риски (с акцентом на трихинеллез);
- химическая контаминация (тяжелые металлы (токсичные элементы), радионуклиды, стойкие органические загрязнители).

Особенности мяса медведя (медвежатины)

По аминокислотному составу и качественно-му белковому показателю мясо бурого медведя характеризуется как высокоценный и сбалансированный пищевой продукт [18]. В сравнении с другими видами диких животных, оно отличается повышенным содержанием липидов, однако демонстрирует сходные показатели по массовой доле влаги, белка и минеральных веществ [4].

В летний период, ввиду особенностей кормовой базы, мясо медведя характеризуется пониженной жирностью и менее выраженными пищевыми достоинствами, что снижает его потребительскую ценность. В связи с этим промысел в весенне-летний сезон представляется менее целесообразным. Оптимальными сроками добычи бурого медведя, обеспечивающими получение продукции высокого качества, являются осенний и зимний периоды^{1, 2} [11, 19]. Небольшие изменения в доступности высокопитательных продуктов оказывают важное влияние на качество питания медведей, соответственно и на качественные характеристики мяса. Ввиду важности условий питания для жизнеспособности медведей и продуктивности популяции, мониторинг доступности пищи, а также особенностей питания и рациона бурых медведей должен стать постоянной частью программ управления данным биоресурсом [11, 20].

В таблице 1 представлена оценка пищевой ценности мяса медведя [1, 18, 21, 22].

Полученный состав жирных кислот мяса медведя свидетельствует о том, что наибольшим количеством представлена фракция насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот, составляющая

Таблица 1. Характеристика пищевой ценности мяса бурого медведя (на 100 г продукта)

Table 1. Nutritional value of brown bear meat (per 100 g of product)

Показатель	Источник			
	[1]	[18]	[21]	[22]
Белки (г)	20,1	24,43	19,95	29,2
Жиры (г)	8,3	5,03	7,95	8,3
Углеводы (г)	1,4	–	–	–
Вода (г)	69,8	–	–	69,2
Минеральные вещества (г)	1,4	–	–	–
Зола (г)	–	3,95	–	–
pH (ед)	–	–	6,0	–

79,1% от суммы жирных кислот [1]. Профиль жирных кислот, соотношения и липидные индексы мяса бурого медведя характеризуются высоким содержанием C18:1n-9, следовательно, высоким содержанием мононенасыщенных жирных кислот, лучшим профилем незаменимых полиненасыщенных жирных кислот у молодых особей и хорошим соотношением ПНЖК/НЖК [4].

Специфический вкус медвежатины находится в прямой зависимости от рациона питания животного. Технологическая обработка мяса осложняется его повышенной жесткостью, требующей длительного термического воздействия. Дополнительные сложности возникают при переработке весенней медвежатины, отличающейся сухостью, что предполагает обязательное использование маринадов для коррекции консистенции и вкуса готового продукта [1].

Безопасность мяса медведя

При ветеринарно-санитарной оценке медвежатины руководствуются органолептическими показателями, установленными ГОСТ 7269-2015²²: внешний вид и цвет, консистенция, запах, состояние жира и сухожилий, прозрачность и аромат бульона (рисунок 1). Данные критерии применялись

Рис. 1. Органолептические показатели мяса медведя

Fig. 1. Organoleptic properties of bear meat



²² ГОСТ 7269-2015 Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести

в исследованиях качества медвежатины из различных регионов [23–25].

Возможные риски представляют обширные огнестрельные (или другого происхождения) ранения, переломы, сопровождающихся кровоизлияниями, отек легких, абсцессы и другие патологические изменения [19].

Образцы медвежатины из Центрального федерального округа РФ по всем показателям соответствовали регламентируемым требованиям качества и безопасности, а также обладают высокой пищевой ценностью [21, 22, 25].

Инфекционные и паразитарные риски

Спектр гельминтов, паразитирующих у медведей, достаточно широк. Наибольшую известность среди охотников и ветеринаров имеет *Trichinella* spp. (преимущественно *T. nativa*), являющаяся возбудителем трихинеллеза [16, 23, 26]. Вместе с тем информированность о других паразитах остается крайне низкой как среди потребителей, так и среди специалистов ветеринарного надзора. Данный пробел в знаниях приводит к сложностям при видовой идентификации гельминтов и порядка дальнейших действий в отношении инвазированной продукции [23].

Медведь относится к всеядным хищникам, употребляющим падаль, что увеличивает вероятность встречи с трихинеллезными животными, тем самым являясь накопителем личинок трихинелл [27].

Возбудителем трихинеллеза у медведей служат преимущественно *Trichinella nativa* (в холодных регионах) и *T. spiralis* (в более теплых); реже встречаются *T. pseudospiralis* и генотип Т9. Эти виды и генотипы различаются по устойчивости к замораживанию, что имеет значение для оценки рисков при хранении и переработке мяса. Эти виды различаются по устойчивости к замораживанию, что имеет значение для оценки рисков при хранении и переработке мяса.

В большинстве случаев заражение гельминтами происходит при поедании плохо обработанного мяса бурого медведя²³ [19, 27]. Поэтому основная масса исследований паразитарной безопасности мяса медведя сконцентрирована на исследовании *Trichinella*.

В США и Канаде сохраняется риск возникновения вспышек трихинеллеза, ассоциированных с потреблением медвежатины [28–32]. За 2022–2023 гг. зарегистрированы две вспышки: в 2022 г. (6 случаев, возбудитель — *Trichinella nativa*) и в 2023 г. (10 вероятных случаев) [28, 32]. Характерной особенностью является устойчивость возбудителя к замораживанию и возможность перекрестной контаминации других продуктов²⁴ [32].

Ветеринарные исследования показывают, что в регионах Сибири и Дальнего Востока, включая Приморье, уровень заражения трихинеллезом

среди бурых медведей достигает 85% в некоторых популяциях [9, 14–16, 23, 33, 34].

Мясо медведей являлось источником инвазии трихинеллезом людей в Хабаровском крае в 20% случаев и в 17% случаев в Амурской области [15, 35]. Исследование на территории Амурской области [36] показывает, что экстенсивность инвазии (далее по тексту — ЭИ) зарегистрирована среди популяций бурого медведя составляет 30,3%. В другом исследовании [27] ЭИ бурых медведей составила 12,5% Интенсивность инвазии поперечнополосатой мышечной ткани составила 84,7 личинок в грамме при $p < 0,05$, наибольшие показатели зараженности выявлены в диафрагме 122 лич./г.

По результатам исследований, проведенных в Камчатском крае в 2003–2010 гг., ЭИ *Trichinella* spp. у бурых медведей ($n = 471$) достигла 30,57%. В Сахалинской области за период 2006–2011 гг. зараженность оказалась существенно ниже: средний показатель ЭИ составил 2,36% при колебаниях от 0 до 3,92% в разные годы ($n = 254$) [9]. ЭИ бурого медведя, добытого на Чукотке в 2017 г., составила 80% [34].

В Магаданской области трихинеллез у бурого медведя обнаружен в разных частях региона. В 2007 г. был исследован материал от 28 особей бурого медведя, в 17 случаях (61%) в мясе были выявлены личинки трихинелл²⁵ [9].

Исследователи установили ЭИ бурого медведя на юге Забайкальского края в 21,4% [37]. В 3 из 5 проб мяса бурого медведя, привезенных из Канского района Красноярского края, были найдены капсулы трихинелл [38].

ЭИ бурого медведя трихинеллезом в Тюменской области составляет 7,9%, а в Центральном Нечерноземье РФ — 42,8% [39].

При трихинеллоскопии мяса медведя в Кировской области личинки трихинелл обнаружили у 15% особей. Интенсивность инвазии составила $115 \pm 28,5$ личинок на 1 г мышц [40].

Исследования мяса медведя, добытого в Калужской и Ленинградской областях, не выявили личинок трихинелл [41].

Личинки *Trichinella* были обнаружены у 2,5% (у 6 из 236) бурых медведей и у 0,9% (у 1 из 117) японских черных медведей (*Ursus arctos lasiotus*). Анализ показал, что личинки, собранные у семи зараженных медведей, были идентичны одному из двух гаплотипов *Trichinella* Т9 [42].

Проведенные паразитологические исследования позволили выявить на территории Пермского края инвазию бурого медведя тканевыми гельминтозами, при этом в 25,0% туш — нематодами *Dirofilaria ursi* (Yamaguti, 1941) [23].

B. transfuga является наиболее распространенным кишечным гельминтом бурого медведя в Пермском крае [43].

²³ Эпидемиологический надзор за трихинеллёзом. Методические указания 3.2.3163—14

²⁴ (URL: <https://www.sciencealert.com/family-contracts-rare-parasite-after-dining-on-wild-bear-kebabs?>)

²⁶ (URL: <https://www.kolyma.ru/index.php?newsid=25437>)

Недостаточный охват ветеринарно-санитарной экспертизой туш медведей при их высокой значимости как источника трихинеллеза для человека создает угрозу распространения инвазии. Проблема циркуляции трихинелл на территории России требует консолидации усилий ветеринарных служб, ученых и охотпользователей [14].

Таким образом, экстенсивность инвазии *Trichinella* spp. у бурого медведя варьирует в широких пределах — от 0% (Калужская, Ленинградская области) до 85% (отдельные популяции Дальнего Востока) [9, 34, 41]. Наиболее высокие показатели зарегистрированы в Сибири и на Дальнем Востоке, что согласуется с данными Середкина [9] и Букиной с соавт. [34].

Этот контраст свидетельствует о неравномерности распространения паразита, которая, вероятно, связана с плотностью популяций хищников, наличием синантропных очагов и климатическими условиями, влияющими на выживаемость личинок во внешней среде.

Тяжелые металлы (токсичные элементы), радионуклиды и пестициды

Химическая контаминация медвежатины обусловлена двумя основными группами факторов:

- использование свинцовых боеприпасов, приводящее к фрагментации свинца в тканях;
- накопление техногенных поллютантов (тяжелых металлов, радионуклидов, стойких органических загрязнителей) из окружающей среды в результате трофической аккумуляции.

Свинцовые боеприпасы широко используются в охоте, и остатки свинца представляют опасность для здоровья человека, особенно для детей и беременных женщин, употребляющих в пищу мясо дичи, добытой с использованием пуль на основе свинца. Пули с сердечником из свинца расширяются и фрагментируются при ударе, рассеивая фрагменты в тканях, окружающих траекторию полета пули [44, 45]. Даже уровни свинца в крови, которые в настоящее время считаются «низкими», могут представлять значительный риск неблагоприятных последствий внутриутробно, в детстве и во взрослом возрасте, включая вредные неврологические и поведенческие эффекты у детей, хронические заболевания почек, сердечно-сосудистые заболевания [44, 46].

Из-за своего рациона скандинавские бурые медведи имеют гораздо более высокие фоновые концентрации свинца в тканях, чем лоси²⁶ [47]. Основными источниками воздействия на бурых медведей являются боеприпасы, ягоды, муравьи и почва, содержащая свинец, образующийся в результате осаждения из воздуха от бензина и заводов. В большинстве съедобных тканей медведей этой популяции концентрация свинца превышает предельно допустимые концентрации,

установленные в ЕС для мяса и субпродуктов (150–200 мкг/кг массы тела) домашних животных²⁶ [44].

Исследования бурых медведей в США [48], Юго-Восточной Европе [49] и Скандинавии [50] показали среднюю концентрацию свинца в крови 55 мкг/л, 61 мкг/л и 88 мкг/л соответственно. Авторы утверждают [47], что скандинавские бурые медведи подвергаются сильному воздействию свинца из окружающей среды, несмотря на общее значительное снижение содержания свинца в Европе в пространственно-временном масштабе.

Lazarus *et al.* не обнаружили половых различий в концентрации Pb в бедренных костях или в тканях печени и почек бурых медведей (*Ursus arctos*) в Хорватии, но у животных в возрасте ≥ 4 лет концентрация Pb была выше по сравнению с более молодыми особями. У медвежат (в возрасте < 1 года) концентрация свинца в мягких тканях была выше, чем у годовалых особей, что указывает на перенос свинца во время беременности и лактации [51, 52].

Исследование [44] показало, что несколько видов коммерческих продуктов из медвежьего мяса, представленных на рынке Швеции и Финляндии, сильно загрязнены свинцом из отработанных боеприпасов. Исследование также показало, что одной лишь медицинской рентгеновской визуализации, используемой для проверки мяса дичи перед продажей или передачей в продовольственные банки, вряд ли достаточно для обнаружения всех фрагментов свинца в продуктах.

В результате исследования проб мяса бурых медведей, добытых в охотничьем хозяйстве на Рыбинском водохранилище (Ярославская область, Россия), превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) свинца, кадмия, ртути и мышьяка не установлено [21].

Выявлено, что содержание свинца и кадмия в тканях медведя, добытого в Кировской области, выше пороговых значений, представляющих опасность для здоровья человека. Показано превышение содержания нормы Pb на 20,0% в мышцах, на 100% в почках и на 28,6% в печени. Содержание Cd в мышцах было на 10% выше нормы и на 14,3% в печени [53, 54].

Целью исследования [55] была оценка содержания тяжелых металлов в буром медведе (*Ursus arctos*), обитающем в центральноевропейских Карпатах. Наибольшее содержание кадмия, свинца и ртути было обнаружено в почках ($17,4 \pm 5,2$ мг·кг⁻¹, $1,16 \pm 0,39$ мг·кг⁻¹, $0,39 \pm 0,25$ мг·кг⁻¹ соответственно), тогда как наименьшее содержание металлов наблюдалось в мышцах ($0,017 \pm 0,009$ мг·кг⁻¹, $0,299 \pm 0,308$ мг·кг⁻¹, $0,013 \pm 0,011$ мг·кг⁻¹ соответственно). Распределение и концентрация меди в тканях медведей были следующими (в порядке убывания): печень ($23,9 \pm 6,7$ мг·кг⁻¹), > почки

²⁶ Hydeskov H.B. Exposure and impacts of lead (Pb) in Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*). Dissertation, Nottingham Trent University, UK, 2023. (URL: <https://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/50883>)

($9,0 \pm 3,3$ мг·кг⁻¹), > мышцы ($1,9 \pm 1,6$ мг·кг⁻¹) и > селезенка ($1,0 \pm 0,2$ мг·кг⁻¹).

Мониторинг радиоактивного загрязнения охотничьих угодий актуален ввиду способности радионуклидов накапливаться в организме животных, что ведет к снижению резистентности и повышению заболеваемости [56].

Содержание ¹³⁷Cs в образцах мяса диких бурых медведей, отстреленных в Ярославской и Тверской областях, составило в среднем 24,11 и 16,48 Бк/кг соответственно, что не превышает нормативные показатели [21, 25]. Другое исследование в Тверской области показало среднее значение ¹³⁷Cs 1,83 Бк/кг [22].

В мясе медведя установлено содержание ¹³⁷Cs в количестве $21,1 \pm 5,4$ Бк/кг в южных районах Зауралья. Содержания ⁹⁰Sr составило $1,7 \pm 1,2$ Бк/кг, а ²¹⁰Pb — $1,8 \pm 0,1$ Бк/кг [56].

После аварии на АЭС Фукусима-1 (Япония) специфический рацион азиатских черных медведей (включая ягоды и некоторые виды растений) привел к более высоким концентрациям активности ¹³⁷Cs в мясе. Японские исследователи установили, что содержание ¹³⁷Cs в мышцах изменяется в зависимости от сезона, и что эти сезонные изменения также различаются между двумя видами. У медведей содержание ¹³⁷Cs в мышцах снижалось с весны до начала осени, затем увеличивалось зимой [57].

В исследовании [58] были определены уровни органохлорированных пестицидов (далее по тексту — ХОС) и полихлорированных бифенилов (далее по тексту — ПХБ) в жировой ткани бурого медведя (*Ursus arctos*) из Хорватии (n = 32), отобранных в 2010–2011 гг. Суммарные концентрации ХОС составляли 0,45–4,09 нг/г липидной массы, а ΣПХБ — 0,93–8,52 нг/г. Среди стойких органических загрязнителей доминировали ПХБ, на долю которых приходилось более 72% всех выявленных соединений. Основными загрязнителями среди пестицидов были γ-гексахлорциклопексан (далее по тексту — ГХЦГ), Гексахлорбензол, β-ГХЦГ и ДДТ, а среди ПХБ — конгенеры ПХБ-153, ПХБ-180, ПХБ-170 и ПХБ-138. У самцов бурого медведя отмечены более высокие уровни ΣПХБ и диоксин-подобных ПХБ. В целом концентрации ХОС и ПХБ у бурых медведей были низкими и соответствовали типичным значениям для крупных наземных млекопитающих.

Исследование загрязнений стойкими органическими загрязнителями в жировой ткани самцов бурого медведя, отобранной в Хорватии в 2021–2022 гг., показало [59], что суммарное содержание в жировой ткани составило для полибромированных дифениловых эфиров (далее по тексту — ПДБЭ) от 0,011 до 0,463 нг/г липидного веса и от 0,652 до 30,17 нг/г лв для ПХБ. ПХБ преобладали над ПДБЭ, составляя более 94% от общей суммы обеих групп. Сравнение с данными предыдущих лет показало снижение уровня ПХБ-28, но рост ПХБ-118 и ПХБ-180; уровни других

конгенов оставались стабильными на протяжении десяти лет. Доминирующими конгенерами были ПХБ-153 и ПХБ-180 [58, 59].

Для полноты картины целесообразно обратиться к данным по белому медведю (*Ursus maritimus*), который, занимая вершину арктической трофической цепи, служит индикатором глобального загрязнения стойкими органическими загрязнителями (СОЗ). Хотя белые медведи редко являются объектом охоты в России, данные по их контаминации представляют интерес для сравнительного анализа, поскольку они демонстрируют максимальные уровни накопления СОЗ среди наземных хищников Арктики. Это обусловлено их высоким трофическим уровнем и рационом с высоким содержанием липидов [60–62]. Исследователи указывают [60–64] на общее снижение концентраций этих загрязнителей «старого поколения» (legacy POPs), что отражает эффективность международных запретов и ограничений, введенных в 1970–1980-х гг. У бурых медведей, занимающих более низкий трофический уровень, концентрации СОЗ в среднем ниже, чем у белых медведей. Однако в регионах с выраженной техногенной нагрузкой (Хорватия, Скандинавия) они могут достигать сопоставимых значений [58, 59].

Ключевым фактором, влияющим на динамику загрязнителей, был определен сезонный голод: катаболизм жировой ткани приводит к росту концентраций стойких органических загрязнителей в циркулирующей крови и молоке, усиливая воздействие на уязвимые стадии жизненного цикла.

Обобщение данных показывает, что уровни контаминации мяса медведя существенно варьируют в зависимости от региона: в Центральной России (Ярославская, Тверская области) содержание ¹³⁷Cs и тяжелых металлов (токсичных элементов) не превышает нормативов [21, 25], тогда как в Кировской области России и Скандинавии зафиксировано превышение ПДК по Pb и Cd [44, 53]. Наибольшие концентрации токсичных элементов обнаруживаются в печени и почках, что подтверждает необходимость дифференцированного подхода к ветсанэкспертизе медвежьих субпродуктов.

Выводы/Conclusion

Проведенный анализ научных публикаций показал, что мясо бурого медведя (*Ursus arctos*) представляет собой пищевой продукт с высокой биологической ценностью, однако его употребление связано с рядом потенциальных рисков для здоровья человека. Основную угрозу биологической безопасности представляет паразитарная контаминация, прежде всего, возбудителями трихинеллеза рода *Trichinella*. По данным различных исследований, уровень зараженности популяций бурого медведя может существенно варьировать в зависимости от региона и достигать

высоких значений, что подтверждает необходимость обязательного лабораторного контроля мяса перед употреблением.

На основе систематизации данных установлены приоритетные направления для совершенствования контроля:

- обязательное лабораторное исследование на *Trichinella spp.* всех туш медведей независимо от региона добычи;
- углубленный мониторинг тяжёлых металлов (токсичных элементов) в регионах с высокой техногенной нагрузкой;
- разработка унифицированных методов отбора проб мяса диких животных для оценки фрагментации свинцовых боеприпасов.

Химические загрязнители представляют собой не менее значимый фактор риска при потреблении медвежатины, чем паразитарные риски. Несмотря на это, объем накопленных научных данных о контаминации тканей бурого медведя (*Ursus arctos*) токсичными элементами и другими поллютантами недостаточен для всесторонней оценки безопасности продукции.

Отсутствие предубойного ветеринарного осмотра животных охотничьего промысла повышает значимость послеубойной ветсанэкспертизы туш и лабораторного контроля. Мясо медведя следует рассматривать как объект повышенного ветеринарно-санитарного риска, что требует усиления надзорных мероприятий, особенно в регионах с высокими показателями паразитарной и химической контаминации.

Систематизация имеющихся сведений подтверждает актуальность наращивания научной базы по изучению биологических и химических рисков мяса медведя, а также необходимость гармонизации методик ветеринарно-санитарной экспертизы продукции охотничьего промысла с учетом региональных особенностей. В продолжение тематики безопасности мяса промысловых животных авторами данной работы подготовлен аналогичный научный обзор для мяса дикого кабана (*Sus scrofa*), в котором детально проанализированы инфекционные и паразитарные риски, содержание хлорированных углеводов и микропластика [65] (часть 1) и [66] (часть 2).

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. Дусаев Н.С., Гришин А.С. Опасный, но вкусный бурый медведь. *Мясные технологии*. 2010; (1): 46–47. EDN WJZTJZ
2. Царегородцева Е.В., Кабанова Т.В. Экспертиза мяса домашних и диких животных. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2018; 4(3): 77–84. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-3-77-84>
3. Skobrák E.B., Bodnár K., Jónás E.M., Gundel J., Jávora A. The Comparison Analysis of the Main Chemical Composition Parameters of Wild Boar Meat and Pork. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*. 2011; 44(1): 105–112.
4. Kelava Ugarković N., Konjačić M., Malnar J., Tomljanović K., Šprem N., Ugarković D. Proximate Chemical Composition, Fatty Acid Profile, and Lipid Qualitative Indices of Brown Bear Meat. *Foods*. 2021; 10(1): 36. <https://doi.org/10.3390/foods10010036>
5. Tomasevic I. et al. Consumers' perceptions, attitudes and perceived quality of game meat in ten European countries. *Meat Science*. 2018; 142: 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.016>
6. Калинин С.Н., Илюха В.А., Панченко Д.В., Зайцева И.А. Оценка потребления дичи при исследовании промысла охотничьих видов в Республике Карелия. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2024; (7): 139–145. <https://doi.org/10.17076/eb1967>
7. McLellan B.N., Proctor M.F., Huber D., Michel S. *Ursus arctos* (amended version of 2017 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2017; e.T41688A121229971. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T41688A121229971.en>
8. Николаенко В.Т., Данильченко С.И. Бурый медведь – как объект охоты, способы его учета и добычи. *Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ВНИИОЗ им. проф. Б.М. Житкова*. Киров. 2012; 563–564. EDN ACZRTJ
9. Серёдкин И.В. Трихинеллез бурого и гималайского медведей на Дальнем Востоке России. *Вестник КрасГАУ*. 2015; (12): 167–173. EDN VCGVPT
10. Robbins C.T., Schwartz C.C., Felicetti L.A. Nutritional ecology of ursids: a review of newer methods and management implications. *Ursus*. 2004; 15(2): 161–171. [https://doi.org/10.2192/1537-6176\(2004\)015<0161:NEOUAR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.2192/1537-6176(2004)015<0161:NEOUAR>2.0.CO;2)
11. López-Alfaro C., Coogan S.C.P., Robbins C.T., Fortin J.K., Nielsen S.E. Assessing Nutritional Parameters of Brown Bear Diets among Ecosystems Gives Insight into Differences among Populations. *PLOS One*. 2015; 10(6): e0128088. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128088>
12. Bojarska K., Selva N. Spatial patterns in brown bear *Ursus arctos* diet: the role of geographical and environmental factors. *Mammal Review*. 2012; 42(2): 120–143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2011.00192.x>
13. Efford M.G., Borchers D.L., Mowat G. Varying effort in capture–recapture studies. *Methods in Ecology and Evolution*. 2013; 4(7): 629–636. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12049>
14. Химилонен О.К., Колина Ю.А. Критерии оценки безопасности мяса бурого медведя в Приморском крае. *Биологические и ветеринарные аспекты в сохранении и лечении диких животных. Материалы Международной научно-практической конференции*. Уссурийск. 2025; 180–182. EDN YLLNFM

REFERENCES

1. Dusaev N.S., Grishin A.S. Dangerous but tasty brown bear. *Meat Technology*. 2010; (1): 46–47 (in Russian). EDN WJZTJZ
2. Tsaregorodtseva E.V., Kabanova T.V. Examination of meat of domestic and wild animals. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2018; 4(3): 77–84 (in Russian). <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-3-77-84>
3. Skobrák E.B., Bodnár K., Jónás E.M., Gundel J., Jávora A. The Comparison Analysis of the Main Chemical Composition Parameters of Wild Boar Meat and Pork. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*. 2011; 44(1): 105–112.
4. Kelava Ugarković N., Konjačić M., Malnar J., Tomljanović K., Šprem N., Ugarković D. Proximate Chemical Composition, Fatty Acid Profile, and Lipid Qualitative Indices of Brown Bear Meat. *Foods*. 2021; 10(1): 36. <https://doi.org/10.3390/foods10010036>
5. Tomasevic I. et al. Consumers' perceptions, attitudes and perceived quality of game meat in ten European countries. *Meat Science*. 2018; 142: 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.016>
6. Kalinina S.N., Ilyukha V.A., Panchenko D.V., Zaitseva I.A. Estimating wild game consumption within the study of hunting in the Republic of Karelia. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2024; (7): 139–145 (in Russian). <https://doi.org/10.17076/eb1967>
7. McLellan B.N., Proctor M.F., Huber D., Michel S. *Ursus arctos* (amended version of 2017 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2017; e.T41688A121229971. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T41688A121229971.en>
8. Nikolaenok V.T., Danil'chenko S.I. Brown bear as an object for hunting, methods of its counting and harvesting. *Recent problems of nature use, game biology and fur farming. Proceedings of International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming*. Kirov. 2012; 563–564 (in Russian). EDN ACZRTJ
9. Seryodkin I.V. Trichinosis of brown bear and Asiatic black bear in the Russian Far East. *Bulletin of KSAU*. 2015; (12): 167–173 (in Russian). EDN VCGVPT
10. Robbins C.T., Schwartz C.C., Felicetti L.A. Nutritional ecology of ursids: a review of newer methods and management implications. *Ursus*. 2004; 15(2): 161–171. [https://doi.org/10.2192/1537-6176\(2004\)015<0161:NEOUAR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.2192/1537-6176(2004)015<0161:NEOUAR>2.0.CO;2)
11. López-Alfaro C., Coogan S.C.P., Robbins C.T., Fortin J.K., Nielsen S.E. Assessing Nutritional Parameters of Brown Bear Diets among Ecosystems Gives Insight into Differences among Populations. *PLOS One*. 2015; 10(6): e0128088. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128088>
12. Bojarska K., Selva N. Spatial patterns in brown bear *Ursus arctos* diet: the role of geographical and environmental factors. *Mammal Review*. 2012; 42(2): 120–143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2011.00192.x>
13. Efford M.G., Borchers D.L., Mowat G. Varying effort in capture–recapture studies. *Methods in Ecology and Evolution*. 2013; 4(7): 629–636. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12049>
14. Khimilonov O.K., Kolina Yu.A. Brown bear meat safety assessment criteria in Primorsky Krai. *Biological and veterinary aspects in the conservation and treatment of wild animals. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Ussuriysk. 2025; 180–182 (in Russian). EDN YLLNFM

15. Трухина Т.И., Самсоненко И.А. Распространение трихинеллеза на Дальнем Востоке. *Проблемы ветеринарной медицины и зооэкологии Российского и Азиатско-Тихоокеанского регионов. Материалы первой Международной научно-практической конференции.* Благовещенск: ДальГАУ. 2012; 135–138.
16. Соловьева И.А., Бондаренко Г.А., Трухина Т.И., Иванов Д.А. Особенности формирования природных очагов трихинеллеза на территории Дальнего Востока. *Дальневосточный аграрный вестник.* 2016; 4(40): 126–130. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2016-00083>
17. Hedman H.D., Varga C., Duquette J., Novakofski J., Mateus-Pinilla N.E. Food Safety Considerations Related to the Consumption and Handling of Game Meat in North America. *Veterinary Sciences.* 2020; 7(4): 188. <https://doi.org/10.3390/vetsci7040188>
18. Кайзер А.А., Беглецов О.А. Морфохимические показатели и пищевая ценность мяса бурого медведя (*Ursus arctos*) Таймыра. *Биологические ресурсы Крайнего Севера: современное состояние и рациональное использование. Сборник научных трудов.* СПб.: ГУАП. 2014; 142–146. EDN UWQPQP
19. Бусыгина А.А., Женихова Н.И. Состав, пищевая ценность и сравнительная ветеринарно-санитарная экспертиза мяса медведя и бобра. *Молодежь и наука.* 2021; (2): 7. EDN SYRIJJ
20. Swenson J.E., Adamić M., Huber D., Stokke S. Brown bear body mass and growth in northern and southern Europe. *Oecologia.* 2007; 153(1): 37–47. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0715-1>
21. Бачинская В.М., Боровков М.Ф., Добролюбова Ю.В. Определение качества и безопасности медвежатины. *Молодой ученый.* 2021; (5): 105–109. EDN VHLLDR
22. Кулач П.В., Нитяга И.М., Жданова Е.А. Ветеринарно-санитарная оценка медвежатин из Тверской области. *Discovery Science Research. Сборник статей VI Международной научно-практической конференции.* Петрозаводск: Новая наука. 2020; 36–45. EDN NUZKFY
23. Сивкова Т.Н. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса бурого медведя при поражении дирифиляриями. *Пермский аграрный вестник.* 2020; (4): 103–109. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2020_32_103
24. Kelava Ugarković N., Prpić Z., Konjačić M. Physical quality parameters of brown bear (*Ursus arctos*) meat. 60th Croatian and 20th International Symposium on Agriculture, Book of Abstracts. Bol, Croatia; 2025: 209–214.
25. Малофеева Н.А., Давыдова О.Е., Савина И.П. Биобезопасность и показатели качества медвежатин, добытой на территории Центрального федерального округа. *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии.* 2022; (4): 122–126. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2022.4.122>
26. Коколова Л.М. Трихинеллез животных Якутии. *Наука и образование: современные тренды.* Чебоксары: Интерактив плюс. 2014; (6): 14–33. EDN TKQDWJ
27. Бондаренко Г.А., Соловьева И.А., Остякова М.Е., Трухина Т.И. Инвазированность трихинеллезом бурого медведя (*Ursus arctos*) в Амурской области и морфологические показатели капсул личинок трихинелл. *Международный вестник ветеринарии.* 2025; (1): 114–120. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.114>
28. Gowler C.D. et al. Notes from the Field: Suspected Outbreak of Trichinellosis Associated with Undercooked Bear Meat — North Carolina, November 2023. *Morbidity and Mortality Weekly Report.* 2024; 73(40): 906–907. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7340a4>
29. Dalcin D. et al. *Trichinella Nativa* Outbreak With Rare Thrombotic Complications Associated With Meat From a Black Bear Hunt in Northern Ontario. *Clinical Infectious Diseases.* 2017; 64(10): 1367–1373. <https://doi.org/10.1093/cid/cix165>
30. Larter N.C., Forbes L.B., Elkin B.T., Allaire D.G. Prevalence of *Trichinella* spp. in Black Bears, Grizzly Bears, and Wolves in the Dehcho Region, Northwest Territories, Canada, Including the First Report of *T. nativa* in a Grizzly Bear from Canada. *Journal of Wildlife Diseases.* 2011; 47(3): 745–749. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-47.3.745>
31. Butler C.E., Khan R.A. Prevalence of *Trichinella spiralis* in Black Bears (*Ursus americanus*) from Newfoundland and Labrador, Canada. *Journal of Wildlife Diseases.* 1992; 28(3): 474–475. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-28.3.474>
32. Cash-Goldwasser S. et al. Outbreak of Human Trichinellosis — Arizona, Minnesota, and South Dakota, 2022. *Canada Communicable Disease Report.* 2024; 50(5): 153–157. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v50i05a05>
33. Андреева М.В., Татаринова З.Г. Распространение трихинеллеза и ветеринарно-санитарная экспертиза мяса бурых медведей в Якутии. *Сборник научных трудов SWorld.* 2014; (4-32): 57–61. EDN TFBAYZ
34. Букина Л.А., Игитова Д.М. Полигостальность как показатель экологической валентности трихинелл на территории Чукотки. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2017; (6-2): 36–38. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.60.084>
35. Самсоненко И.А., Трухина Т.И. Мониторинг трихинеллеза на территории Хабаровского края. *Проблемы ветеринарной медицины и зооэкологии Российского и Азиатско-Тихоокеанского регионов. Материалы первой Международной научно-практической. конференции.* Благовещенск: ДальГАУ. 2012; 120–122.
36. Трухина Т.И., Бондаренко Г.А., Соловьева И.А. Зараженность трихинеллезом среди диких и домашних животных в Амурской области. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии.* 2023; (3): 52–59. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2023-3-52-59>
37. Кириллов Е.В. Популяционные исследования основных паразитарных систем диких животных Юга Забайкальского края. *Пермский аграрный вестник.* 2024; (2): 110–118. EDN LVUQCB
38. Улейская Л.А. Зараженность мяса бурых медведей трихинеллезом в Канском районе Красноярского края. *Студенческая наука – взгляд в будущее. Материалы XIX Всероссийской студенческой научной конференции.* Красноярск. 2024; 2: 136–138. EDN PEAMDM
39. Крючкова Е.Н., Абаikhin B.Г., Соколов Е.А. Современная ситуация по трихинеллезу в Центральном Нечерноземье Российской Федерации. *Ветеринарный врач.* 2019; (5): 28–32. EDN FJCZAS
15. Trukhina T.I., Samsonenko I.A. Spread of trichinellosis in the Far East. *Problems of veterinary medicine and zooecology of the Russian and Asian-Pacific regions. Proceedings of the First International scientific and practical conference.* Blagoveshchensk: Far State Agrarian University. 2012; 135–138 (in Russian).
16. Solovieva I.A., Bondarenko G.A., Trukhina T.I., Ivanov D.A. Features of the formation of natural foci of trichinosis in the Far East. *Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2016; 4(40): 126–130. (in Russian). <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2016-00083>
17. Hedman H.D., Varga C., Duquette J., Novakofski J., Mateus-Pinilla N.E. Food Safety Considerations Related to the Consumption and Handling of Game Meat in North America. *Veterinary Sciences.* 2020; 7(4): 188. <https://doi.org/10.3390/vetsci7040188>
18. Kaizer A.A., Begletsov O.A. Morphochemical parameters and nutritional value meat brown bear (*Ursus arctos*) Taimyr. *Biological resources of the Far North: current status and rational use. Collection of scientific papers.* St. Petersburg: State University of Aerospace Instrumentation. 2014; 142–146 (in Russian). EDN UWQPQP
19. Busygina A.A., Zhenikhova N.I. Composition, nutritional value and comparative veterinary and sanitary examination of bear and beaver meat. *Youth and science.* 2021; (2): 7 (in Russian). EDN SYRIJJ
20. Swenson J.E., Adamić M., Huber D., Stokke S. Brown bear body mass and growth in northern and southern Europe. *Oecologia.* 2007; 153(1): 37–47. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0715-1>
21. Bachinskaya V.M., Borovkov M.F., Dobrolyubova Yu.V. Determination of the quality and safety of bear meat. *Young scientist.* 2021; (5): 105–109 (in Russian). EDN VHLLDR
22. Kulach P.V., Nityaga I.M., Zhdanova E.A. Veterinary and sanitary assessment of bear meat from the Tver region. *Discovery Science Research. Collected papers of the VI International scientific and practical conference.* Petrozavodsk: Novaya nauka. 2020; 36–45 (in Russian). EDN NUZKFY
23. Sivkova T.N. Veterinary and sanitary expertize of brown bear meat infected with *Diriofilaria ursi*. *Perm agrarian journal.* 2020; (4): 103–109 (in Russian). https://doi.org/10.47737/2307-2873_2020_32_103
24. Kelava Ugarković N., Prpić Z., Konjačić M. Physical quality parameters of brown bear (*Ursus arctos*) meat. 60th Croatian and 20th International Symposium on Agriculture, Book of Abstracts. Bol, Croatia; 2025: 209–214.
25. Malofeeva N.A., Davydova O.E., Savina I.P. Biosafety and quality indicators of bear meat harvested in the Central Federal District. *Legal regulation in veterinary medicine.* 2022; (4): 122–126 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2022.4.122>
26. Kokolova L.M. Trichinosis of animals of Yakutia. *Science and education: modern trends.* Cheboksary: Interaktiv plyus. 2014; (6): 14–33 (in Russian). EDN TKQDWJ
27. Bondarenko G.A., Solovyeva I.A., Ostyakova M.E., Trukhina T.I. Invasion of brown bear (*Ursus arctos*) trichinosis in the Amur region and morphological parameters of capsules of *Trichinella* larvae. *International Journal of Veterinary Medicine.* 2025; (1): 114–120 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.114>
28. Gowler C.D. et al. Notes from the Field: Suspected Outbreak of Trichinellosis Associated with Undercooked Bear Meat — North Carolina, November 2023. *Morbidity and Mortality Weekly Report.* 2024; 73(40): 906–907. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7340a4>
29. Dalcin D. et al. *Trichinella Nativa* Outbreak With Rare Thrombotic Complications Associated With Meat From a Black Bear Hunt in Northern Ontario. *Clinical Infectious Diseases.* 2017; 64(10): 1367–1373. <https://doi.org/10.1093/cid/cix165>
30. Larter N.C., Forbes L.B., Elkin B.T., Allaire D.G. Prevalence of *Trichinella* spp. in Black Bears, Grizzly Bears, and Wolves in the Dehcho Region, Northwest Territories, Canada, Including the First Report of *T. nativa* in a Grizzly Bear from Canada. *Journal of Wildlife Diseases.* 2011; 47(3): 745–749. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-47.3.745>
31. Butler C.E., Khan R.A. Prevalence of *Trichinella spiralis* in Black Bears (*Ursus americanus*) from Newfoundland and Labrador, Canada. *Journal of Wildlife Diseases.* 1992; 28(3): 474–475. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-28.3.474>
32. Cash-Goldwasser S. et al. Outbreak of Human Trichinellosis — Arizona, Minnesota, and South Dakota, 2022. *Canada Communicable Disease Report.* 2024; 50(5): 153–157. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v50i05a05>
33. Andreyeva M.V., Tatarinova Z.G. Spread of trichinellosis and veterinary-sanitary examination of brown bear meat in Yakutia. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld.* 2014; (4-32): 57–61 (in Russian). EDN TFBAYZ
34. Bukina L.A., Igitova D.M. Polihostality as the main index of environmental valence of *Trichina* on the territory of Chukotka. *International Research Journal.* 2017; (6-2): 36–38 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.60.084>
35. Samsonenko I.A., Trukhina T.I. Monitoring trichinellosis in Khabarovsk Krai. *Problems of veterinary medicine and zooecology of the Russian and Asian-Pacific regions. Proceedings of the First International scientific and practical conference.* Blagoveshchensk: Far State Agrarian University. 2012; 120–122 (in Russian).
36. Trukhina T.I., Bondarenko G.A., Solovyeva I.A. Infection with trichinosis among wild and domestic animals in the Amur region. *Actual questions of veterinary biology.* 2023; (3): 52–59 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2023-3-52-59>
37. Kiriltsov E.V. Population studies of the main parasitic systems of wild animals in the south of the Transbaikalian region. *Perm agrarian journal.* 2024; (2): 110–118 (in Russian). EDN LVUQCB
38. Uleyskaya L.A. Contamination of brown bear meat with trichinellosis in the Kansk district of Krasnoyarsk Krai. *Student science - a look into the future. Proceedings of the XIX All-Russian student scientific conference.* Krasnoyarsk. 2024; 2: 136–138 (in Russian). EDN PEAMDM
39. Kriuchkova E.N., Abalikhin B.G., Sokolov E.A. The current situation of trichinellosis in the Central Non-Chernozem region of the Russian Federation. *Veterinarny Vrach.* 2019; (5): 28–32 (in Russian). EDN FJCZAS

40. Жданова О.Б., Окулова И.И., Успенский А.В., Написанова Л.А. Морфофункциональные особенности личинок трихинелл у медведей и барсучков в Кировской области. *Российский паразитологический журнал*. 2022; 16(1): 63–69. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2022-16-1-63-69>
41. Малофеева Н.А., Есаулова Н.В., Белогуров В.В. Оценка качества медвежатин. *Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения. Сборник трудов 3-й научно-практической конференции. М.: Сельскохозяйственные технологии*. 2024; 151–152. EDN JINHVC
42. Murakami M. *et al.* *Trichinella* T9 in wild bears in Japan: Prevalence, species/genotype identification, and public health implications. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2023; 21: 264–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2023.07.002>
43. Зименков В.А., Доронин-Доргелинский Е.А., Сивкова Т.Н. Кишечные паразиты бурого медведя в Пермском крае. *Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. Сборник научных статей по материалам научной конференции*. М. 2016; 17: 191–193. EDN XSIFAP
44. Arnemo J.M. *et al.* Toxic food: commercial bear meat products are highly contaminated with lead (Pb) from hunting ammunition. *Exposure and Health*. 2026; 18(2): 23. <https://doi.org/10.1007/s12403-026-00752-5>
45. Green R.E., Pain D.J. Risks to human health from ammunition-derived lead in Europe. *Ambio*. 2019; 48(9): 954–968. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01194-x>
46. Borghese M.M. *et al.* Individual, Independent, and Joint Associations of Toxic Metals and Manganese on Hypertensive Disorders of Pregnancy: Results from the MIREC Canadian Pregnancy Cohort. *Environmental Health Perspectives*. 2023; 131(4): 047014. <https://doi.org/10.1289/EHP10825>
47. Fuchs B. *et al.* High concentrations of lead (Pb) in blood and milk of free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) in Scandinavia. *Environmental Pollution*. 2021; 287: 117595. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117595>
48. Rogers T.A., Bedrosian B., Graham J., Foresman K.R. Lead exposure in large carnivores in the greater Yellowstone ecosystem. *The Journal of Wildlife Management*. 2012; 76(3): 575–582. <https://doi.org/10.1002/jwmg.277>
49. Lazarus M. *et al.* Metal(loid) exposure assessment and biomarker responses in captive and free-ranging European brown bear (*Ursus arctos*). *Environmental Research*. 2020; 183: 109166. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109166>
50. Boesen A.H. *et al.* Assessment of the LeadCare® Plus for Use on Scandinavian Brown Bears (*Ursus arctos*). *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 6: 285. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00285>
51. Lazarus M., Sekovanić A., Orct T., Reljić S., Jurasović J., Huber Đ. Sexual Maturity and Life Stage Influences Toxic Metal Accumulation in Croatian Brown Bears. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018; 74(2): 339–348. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0487-5>
52. Lazarus M., Orct T., Reljić S., Sedak M., Bilandžić N., Jurasović J., Huber Đ. Trace and macro elements in the femoral bone as indicators of long-term environmental exposure to toxic metals in European brown bear (*Ursus arctos*) from Croatia. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; 25(22): 21656–21670. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2296-4>
53. Сергеев А.А., Савельев А.П., Шулятьева Н.А. Тяжёлые металлы в охотничьих животных Кировской области. *Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Материалы Международной научно-практической конференции*. Киров. 2004; 170–173.
54. Sergeyev A. *et al.* Is Russian game meat dangerous? A lead and cadmium case. *Beiträge zur Jagd- und Wildforschung*. 2009; 34: 160–178. EDN URRQQD
55. Čelechovská O., Literák I., Ondruš S., Pospisil Z. Heavy Metals in Brown Bears from the Central European Carpathians. *Acta Veterinaria Brno*. 2006; 75(4): 501–506. <https://doi.org/10.2754/avb200675040501>
56. Okunev A.M. Особенности накопления техногенных радионуклидов в мясе некоторых промысловых животных в Зауралье. *Аграрный научный журнал*. 2019; (8): 47–52. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i8pp47-52>
57. Nemoto Y., Saito R., Oomachi H. Seasonal variation of Cesium-137 concentration in Asian black bear (*Ursus thibetanus*) and wild boar (*Sus scrofa*) in Fukushima Prefecture, Japan. *PLOS One*. 2018; 13(7): e0200797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200797>
58. Herceg Romanić S., Klinčić D., Kljaković-Gašpić Z., Kusak J., Reljić S., Huber Đ. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyl congeners in wild terrestrial mammals from Croatia: Interspecies comparison of residue levels and compositions. *Chemosphere*. 2015; 137: 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.026>
59. Jagić K., Dvorščak M., Sergiel A., Oster E., Lazarus M., Klinčić D. First data on polybrominated diphenyl ethers and temporal trend of polychlorinated biphenyls in European brown bear as a bioindicator species. *Chemosphere*. 2024; 362: 142637. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142637>
60. Polischuk S.C., Norstrom R.J., Ramsay M.A. Body burdens and tissue concentrations of organochlorines in polar bears (*Ursus maritimus*) vary during seasonal fasts. *Environmental Pollution*. 2002; 118(1): 29–39. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(01\)00278-0](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(01)00278-0)
61. Jaspers V.L.B. *et al.* A screening of persistent organohalogenated contaminants in hair of East Greenland polar bears. *Science of the Total Environment*. 2010; 408(22): 5613–5618. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.059>
62. Dietz R. *et al.* Three decades (1983–2010) of contaminant trends in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*). Part 1: Legacy organochlorine contaminants. *Environment International*. 2013; 59: 485–493. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.09.004>
63. Bernhoft A., Wiig Ø., Skaare J.U. Organochlorines in polar bears (*Ursus maritimus*) at Svalbard. *Environmental Pollution*. 1997; 95(2): 159–175. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00122-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00122-4)
64. Bentzen T.W., Muir D.C.G., Amstrup S.C., O'Hara T.M. Organohalogen concentrations in blood and adipose tissue of Southern Beaufort Sea polar bears. *Science of the Total Environment*. 2008; 406(1–2): 352–367. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.030>
65. Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Безопасность мяса дикого кабана (*Sus scrofa*): возможные риски (научный обзор, часть 1). *Аграрная наука*. 2026; 407(06): 22–35. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-22-35>
40. Zhdanova O.B., Okulova I.I., Uspensky A.V., Napisanova L.A. Morphological and functional characteristics of *Trichinella* sp. larvae in bears and badgers in the Kirov Region. *Russian Journal of Parasitology*. 2022; 16(1): 63–69 (in Russian). <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2022-16-1-63-69>
41. Malofeyeva N.A., Yesaulova N.V., Belogurov V.V. Bear meat quality assessment. *Actual problems of veterinary medicine, animal science, biotechnology and examination of raw materials and products of animal origin. Collection of papers of the 3rd Scientific and practical conference*. Moscow: Sel'skhozgizyaystvennyye tekhnologii. 2024; 151–152 (in Russian). EDN JINHVC
42. Murakami M. *et al.* *Trichinella* T9 in wild bears in Japan: Prevalence, species/genotype identification, and public health implications. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2023; 21: 264–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2023.07.002>
43. Zimenkov V.A., Doronin-Dorgelinsky E.A., Sivkova T.N. Intestinal parasites of brown bears in Perm region. *Theory and practice of parasitic disease control. Collection of scientific articles based on the materials of the scientific conference*. Moscow. 2016; 17: 191–193 (in Russian). EDN XSIFAP
44. Arnemo J.M. *et al.* Toxic food: commercial bear meat products are highly contaminated with lead (Pb) from hunting ammunition. *Exposure and Health*. 2026; 18(2): 23. <https://doi.org/10.1007/s12403-026-00752-5>
45. Green R.E., Pain D.J. Risks to human health from ammunition-derived lead in Europe. *Ambio*. 2019; 48(9): 954–968. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01194-x>
46. Borghese M.M. *et al.* Individual, Independent, and Joint Associations of Toxic Metals and Manganese on Hypertensive Disorders of Pregnancy: Results from the MIREC Canadian Pregnancy Cohort. *Environmental Health Perspectives*. 2023; 131(4): 047014. <https://doi.org/10.1289/EHP10825>
47. Fuchs B. *et al.* High concentrations of lead (Pb) in blood and milk of free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) in Scandinavia. *Environmental Pollution*. 2021; 287: 117595. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117595>
48. Rogers T.A., Bedrosian B., Graham J., Foresman K.R. Lead exposure in large carnivores in the greater Yellowstone ecosystem. *The Journal of Wildlife Management*. 2012; 76(3): 575–582. <https://doi.org/10.1002/jwmg.277>
49. Lazarus M. *et al.* Metal(loid) exposure assessment and biomarker responses in captive and free-ranging European brown bear (*Ursus arctos*). *Environmental Research*. 2020; 183: 109166. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109166>
50. Boesen A.H. *et al.* Assessment of the LeadCare® Plus for Use on Scandinavian Brown Bears (*Ursus arctos*). *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 6: 285. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00285>
51. Lazarus M., Sekovanić A., Orct T., Reljić S., Jurasović J., Huber Đ. Sexual Maturity and Life Stage Influences Toxic Metal Accumulation in Croatian Brown Bears. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018; 74(2): 339–348. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0487-5>
52. Lazarus M., Orct T., Reljić S., Sedak M., Bilandžić N., Jurasović J., Huber Đ. Trace and macro elements in the femoral bone as indicators of long-term environmental exposure to toxic metals in European brown bear (*Ursus arctos*) from Croatia. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; 25(22): 21656–21670. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2296-4>
53. Sergeyev A.A., Saveljev A.P., Shulyatieva N.A. Heavy metals in game animals of Kirov region. *Recent problems of nature use, game biology and fur farming. Proceedings of International scientific and practical conference*. Kirov. 2004; 170–173 (in Russian).
54. Sergeyev A. *et al.* Is Russian game meat dangerous? A lead and cadmium case. *Beiträge zur Jagd- und Wildforschung*. 2009; 34: 160–178. EDN URRQQD
55. Čelechovská O., Literák I., Ondruš S., Pospisil Z. Heavy Metals in Brown Bears from the Central European Carpathians. *Acta Veterinaria Brno*. 2006; 75(4): 501–506. <https://doi.org/10.2754/avb200675040501>
56. Okunev A.M. Features of accumulation of the technogenic radionuclides in meat of some hunting animals in the Trans-Urals. *Agrarian Scientific Journal*. 2019; (8): 47–52 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i8pp47-52>
57. Nemoto Y., Saito R., Oomachi H. Seasonal variation of Cesium-137 concentration in Asian black bear (*Ursus thibetanus*) and wild boar (*Sus scrofa*) in Fukushima Prefecture, Japan. *PLOS One*. 2018; 13(7): e0200797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200797>
58. Herceg Romanić S., Klinčić D., Kljaković-Gašpić Z., Kusak J., Reljić S., Huber Đ. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyl congeners in wild terrestrial mammals from Croatia: Interspecies comparison of residue levels and compositions. *Chemosphere*. 2015; 137: 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.026>
59. Jagić K., Dvorščak M., Sergiel A., Oster E., Lazarus M., Klinčić D. First data on polybrominated diphenyl ethers and temporal trend of polychlorinated biphenyls in European brown bear as a bioindicator species. *Chemosphere*. 2024; 362: 142637. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142637>
60. Polischuk S.C., Norstrom R.J., Ramsay M.A. Body burdens and tissue concentrations of organochlorines in polar bears (*Ursus maritimus*) vary during seasonal fasts. *Environmental Pollution*. 2002; 118(1): 29–39. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(01\)00278-0](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(01)00278-0)
61. Jaspers V.L.B. *et al.* A screening of persistent organohalogenated contaminants in hair of East Greenland polar bears. *Science of the Total Environment*. 2010; 408(22): 5613–5618. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.059>
62. Dietz R. *et al.* Three decades (1983–2010) of contaminant trends in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*). Part 1: Legacy organochlorine contaminants. *Environment International*. 2013; 59: 485–493. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.09.004>
63. Bernhoft A., Wiig Ø., Skaare J.U. Organochlorines in polar bears (*Ursus maritimus*) at Svalbard. *Environmental Pollution*. 1997; 95(2): 159–175. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00122-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00122-4)
64. Bentzen T.W., Muir D.C.G., Amstrup S.C., O'Hara T.M. Organohalogen concentrations in blood and adipose tissue of Southern Beaufort Sea polar bears. *Science of the Total Environment*. 2008; 406(1–2): 352–367. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.030>
65. Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Safety of wild boar (*Sus scrofa*) meat: potential risks (scientific review, part 1). *Agrarian science*. 2026; 407(06): 22–35 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-22-35>

66. Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Безопасность мяса дикого кабана (*Sus scrofa*): возможные риски (научный обзор, часть 2). *Аграрная наука*. 2026; 408(07): 41–51. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-408-07-41-51>

ОБ АВТОРАХ

Ярослав Максимович Ребезов¹

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>

Максим Борисович Ребезов²

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный
научный сотрудник
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Новгородский государственный университет имени
Ярослава Мудрого,
ул. Большая Санкт-Петербургская, 41, Великий Новгород,
173003, Россия

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

66. Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Safety of wild boar (*Sus scrofa*) meat: potential risks (scientific review, part 2). *Agrarian science*. 2026; 408(07): 41–51 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-408-07-41-51>

ABOUT THE AUTHORS

Yaroslav Maksimovich Rebezov¹

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>

Maksim Borisovich Rebezov²

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,
41 Bolshaya Sankt-Peterburgskaya st., Veliky Novgorod,
173003, Russia

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

РЕКЛАМА 0+



СИБИРСКАЯ АГРАРНАЯ НЕДЕЛЯ

10–12 НОЯБРЯ 2026

350+

ЭКСПОНЕНТОВ

8 500+

аграриев из СФО, УФО и ДФО

500+

ТЕХНИКИ и агрегатов от мировых брендов

ИННОВАЦИОННЫЕ решения для АПК

ОРГАНИЗАТОР:



СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ: МВК



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

УДК 636.2.082.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-77-83

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

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: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

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

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-77-83

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

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: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

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

Молочная продуктивность коров голштинской породы при разных условиях содержания

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В условиях перевода молочного скотоводства на промышленную основу критически важна оценка адаптации высокопродуктивных пород, в частности голштинской, к различным системам содержания и доения в конкретных природно-климатических зонах, например, на Среднем Урале.

Методы. Исследование проведено в племенном репродукторе Свердловской области на коровах голштинской породы. Животные были разделены на две группы: с привязным содержанием и доением в молокопровод АДМ-8 и с беспривязным содержанием и роботизированным доением. Методами контрольных доек оценивали удой за 305 дней и год, массовую долю жира и белка, количество соматических клеток и санитарно-гигиенические показатели молока. Статистическую обработку данных проводили с определением достоверности различий (p-level).

Результаты. Установлено достоверное преимущество беспривязно-роботизированной технологии. Удой за 305 дней лактации был выше на 18,2% (10917 против 9234 кг), а содержание белка в молоке — на 0,06 п.п. (3,15% против 3,09%, $p \leq 0,01$). Количество соматических клеток в сборном молоке снизилось в 2,5 раза (до 128 тыс./мл). Все молоко от группы с роботизированным доением соответствовало высшему сорту, в то время как при привязном содержании часть молока (3%) относилась ко второму сорту. Беспривязное содержание в сочетании с роботизированным доением не только повышает молочную продуктивность коров голштинской породы в условиях Урала, но и существенно улучшает качество и санитарную безопасность молока за счет снижения маститной нагрузки. Результаты обосновывают экономическую и технологическую целесообразность модернизации молочных ферм в регионе.

Ключевые слова: коровы, способ содержания, доение в молокопровод, доение роботом, продуктивность, удой, качество

Для цитирования: Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Эйриян Н.А. Молочная продуктивность коров голштинской породы при разных условиях содержания. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 77–83.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-77-83>

Milk productivity of Holstein cows under different housing conditions

ABSTRACT

Relevance. In the context of the transition of dairy farming to an industrial basis, it is critically important to assess the adaptation of high-yielding breeds, in particular Holstein, to different housing and milking systems in specific natural and climatic zones, for example, in the Middle Urals.

Methods. The study was conducted on Holstein cows at a breeding farm in the Sverdlovsk region. The animals were divided into two groups: tethered housing with milking into an ADM-8 milk pipeline, and loose housing with robotic milking. Using control milking methods, milk yield per 305 days and per year, mass fraction of fat and protein, somatic cell count, and sanitary-hygienic parameters of milk were assessed. Statistical data processing was performed to determine the significance of differences (p-level).

Results. A significant advantage of the loose-housing robotic technology was established. Milk yield per 305 days of lactation was 18.2% higher (10,917 vs. 9,234 kg), and milk protein content was 0.06 percentage points higher (3.15% vs. 3.09%, $p \leq 0.01$). The somatic cell count in bulk milk decreased by 2.5 times (to 128 thousand/ml). All milk from the robotic milking group met the highest-grade standards, whereas under tethered housing some milk (3%) was classified as second grade.

Loose housing combined with robotic milking not only increases the milk productivity of Holstein cows in the Urals, but also significantly improves the quality and sanitary safety of milk by reducing the mastitis burden. The results substantiate the economic and technological feasibility of modernizing dairy farms in the region.

Key words: Cows, method of maintenance, milking in the milk pipeline, milking by robot, productivity, milk yield, quality

For citation: Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Eyrian N.A. Milk productivity of Holstein cows under different housing conditions. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 77–83 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-77-83>

Введение/Introduction

Скотоводство является ведущей отраслью животноводства. Она обеспечивает производство высокоценных продуктов питания, таких как молоко, говядина и телятина, а также другого сырья для промышленности. На сегодняшний день в России особое внимание уделяют развитию сельского хозяйства, в частности, молочному скотоводству¹ [1, 2].

На молочную продуктивность коров влияние оказывает множество факторов, таких как наследственность, порода, физиологическое состояние животного и стадия лактации. Важным фактором при молочной продуктивности является упитанность, кормление, возраст, условия содержания и технология доения. В мировой практике принято считать, что молочная продуктивность коров на 60% зависит от уровня кормления и качества кормов, на 20–25% — от селекционной работы и воспроизводства, на 20–25% — от условий содержания и технологии доения [1, 3–6].

Оптимальные условия содержания позволяют повысить надои, а неблагоприятные, наоборот, снижают их, также могут отрицательно влиять на качество молока. Перевод отрасли молочного скотоводства на промышленную основу показал, что отечественные породы по ряду хозяйственно-полезных признаков не в полной мере соответствовали требованиям интенсивных технологий производства молока. Ученые и селекционеры вынуждены были в кратчайшие сроки совершенствовать продуктивные и технологические качества коров разводимых пород скота. Сопровождалось это разработками технологических приемов, позволяющих животным не только быстро адаптироваться к новым производственным условиям, но и увеличивать продуктивность при снижении трудо- и энергозатрат [7–14].

Молочные коровы голштинской породы известны своей высокой молочной продуктивностью и широко используются в молочной промышленности [7, 11, 15]. Голштинская порода, благодаря высокой молочной продуктивности и пластичности, доминирует в промышленном скотоводстве Свердловской области. Однако адаптационные возможности животных этой породы к различным технологиям доения в условиях континентального климата Урала остаются предметом дискуссий, что требует проведения региональных исследований.

В последние десятилетия способность коров к доению стала все более важным критерием молочной продуктивности для производителей молочной продукции во всем мире [16–21], позволяющим сократить трудозатраты, минимизировать общее время доения и повысить общее

благополучие коров и стада без ущерба для молочной продуктивности.

В последние годы в Российской Федерации активно внедряются роботизированные системы доения, позволяющие снизить влияние человеческого фактора и обеспечить индивидуальный контроль за здоровьем вымени. Однако сравнительная эффективность беспривязного содержания с роботизированным доением и традиционной привязной технологии с доением в молокопровод в условиях Среднего Урала изучена недостаточно, особенно в отношении качественных показателей молока (содержание соматических клеток, бактериальная обсемененность). Голштинская порода, доминирующая в Свердловской области, требует оценки ее адаптации к разным системам доения в конкретных климатических условиях. Настоящее исследование направлено на восполнение этого пробела. Изучение влияния содержания высокопродуктивных коров голштинской породы в условиях Среднего Урала актуально и имеет практическое значение [22–25].

Цель работы — изучить влияние условий содержания на продуктивность голштинской черно-пестрой породы коров в климатических условиях Свердловской области.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводились на базе одного из типичных для Свердловской области Российской Федерации племенном репродукторе по разведению голштинского скота.

В исследовании участвовали коровы, которые были размещены в помещениях с разными условиями содержания — привязное содержание и беспривязное: в группу с привязным содержанием вошло 120 коров, с беспривязным — 110 коров.

Материалом и данными для сравнения послужили информационно-аналитическая система «СЕЛЭКС — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах»² (Россия), результаты собственных исследований. Коровы подбирались по принципу пар-аналогов с учетом возраста, живой массы, продуктивности за предыдущую лактацию.

Все животные на протяжении исследований находились в одинаковых типичных для зоны условий кормления и содержания, под наблюдением ветеринарного врача, в типовых помещениях при привязном и беспривязном способе содержания³.

Схемы кормления коров и рационы составлялись с учетом норм кормления из кормов собственного производства. В хозяйстве принято круглогодичное стойловое содержание маточного поголовья.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2020 года N 993-р [Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года]

² ИАС «СЕЛЭКС» - Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах внесена в Единый реестр российского программного обеспечения. Реестровая запись № 1927 от 23.09.2016

³ Морозова Н.И. и др. Молочная продуктивность голштинских коров при круглогодичном стойловом содержании (монография). Рязань, 2013.

Молочную продуктивность (удой, массовая доля жира (МДЖ) и белка (МДБ) в молоке коров контролировали по контрольным дойкам.

Отбор проб сырья и продукции проводили в соответствии с ГОСТ 3622⁴, ГОСТ 26809.1⁵. Содержание жира и белка определяли в средней пробе молока от каждой коровы один раз в месяц^{6,7}.

Количество соматических клеток в сборном молоке определяли методом флуорооптоэлектронной микроскопии на анализаторе «Соматос-М» (ООО «Спектр», Россия) согласно ГОСТ 23453-2021⁸. Бактериальную обсемененность оценивали методом посева на питательные среды (КМАФАМ) по ГОСТ 32901-2014⁹. Плотность, температуру заморозки, кислотность и механическую загрязненность определяли по стандартным методикам, предусмотренным ГОСТ Р 52054-2023¹⁰.

Результаты опыта были обработаны биометрически, при помощи персонального компьютера, программы Microsoft Office Excel (США). Достоверность различий между группами оценивали по t-критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Дополнительно для проверки нормальности распределения использовали критерий Шапиро–Уилка. Обработку данных выполняли также с применением пакета Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Результаты представлены в виде среднего арифметического (М) и стандартной ошибки среднего ($\pm m$).

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 целей¹¹,

и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ¹².

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Учет молочной продуктивности является важнейшим элементом в общем комплексе мероприятий по оценке продуктивных и племенных качеств коров; он необходим для отбора и подбора животных, планомерного ведения племенной работы, оценки наследственных качеств коров и быков-производителей, организации правильного кормления.

Для изучения влияния технологий машинного доения на показатели молочной продуктивности коров при разных способах содержания, в разрезе доильного робота при беспривязном содержании и доения в молокопровод при привязном содержании, в сравнении со средними показателями по стаду был проведен анализ по количественным и качественным показателям продуктивности коров (табл. 1).

Из полученных данных можно сделать вывод, что молочная продуктивность коров при привязном содержании и доении в молокопровод АДМ-8 достоверно ниже почти по всем показателям, в сравнении с продуктивностью коров, содержащихся беспривязно, доение которых осуществлялось доильными роботами. Количество соматических клеток в сборном молоке снижается с 322 тыс./мл до 128 тыс./мл, практически в 2,5 раза при роботизированном доении. Такая тенденция подтверждается литературными данными [3].

Таблица 1. Молочная продуктивность коров

Table 1. Dairy productivity of cows

Показатели	Привязное содержание	Беспривязное содержание	Разница беспривязное к привязному, +; -	
	доение коров в молокопровод АДМ-8	доение коров роботом	Ед. изм.	%
Удой на фуражную корову за год, кг	9638 $\pm$ 236,12**	10959 $\pm$ 178,21	1321	13,7
Продуктивность за 305 дней лактации, кг	9234 $\pm$ 212,34**	10917 $\pm$ 156,19	1683	18,2
Суточный удой за 305 дней лактации, кг	30,28 $\pm$ 0,96***	35,76 $\pm$ 0,69	5,46	18,8
Жир, %	3,96 $\pm$ 0,02	3,98 $\pm$ 0,01	0,02	0,5 п.
Белок, %	3,09 $\pm$ 0,01**	3,15 $\pm$ 0,01	0,06	1,9 п.
Молочный жир, кг	382 $\pm$ 6,48**	436 $\pm$ 6,82	54	14,1
Молочный белок, кг	298 $\pm$ 3,42***	345 $\pm$ 2,85	47	15,8
Количество жира и белка, кг	680 $\pm$ 7,12*	781 $\pm$ 6,98	101	14,9
Молоко базисной жирности, кг	10571	12167	1596	15,1
Количество соматических клеток в сборном молоке, тыс./мл	322 $\pm$ 39,46***	128 $\pm$ 28,12	- 194	-60,2

Примечание: * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$

⁴ ГОСТ 3622-68 Молоко и молочные продукты. Отбор проб и подготовка их к испытанию.

⁵ ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты.

⁶ ГОСТ 5867-2023 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира

⁷ ГОСТ 34454-2018 Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кельдаля

⁸ ГОСТ 23453-2014 Молоко сырое. Методы определения соматических клеток

⁹ ГОСТ 32901-2014 Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа

¹⁰ ГОСТ Р 52054-2023 Молоко коровье сырое. Технические условия

¹¹ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях (https://ruslasla.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf)

¹² 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»

От коров при беспривязном способе получено больше молока за 305 дней лактации на 18,2% при среднесуточном удое $35,76 \pm 0,69$ кг, который был на 18,8 больше, чем при привязном содержании коров и доении в молокопровод.

Установлено, что длительность лактации у коров выше, чем 305 дней, о чем свидетельствуют более высокие показатели по удою за всю лактацию. При этом коровы с привязным содержанием и доением в молокопровод имели большую разницу между показателями. Она составила 404 кг или 4,38% в пользу удою за всю лактацию. При доении беспривязного содержания такая разница составила всего 42 кг молока при удое за лактацию 10959 кг.

Для более полного анализа был проведен сравнительный анализ молочной продуктивности используемого способа содержания и, соответственно доения коров на различных доильных установках со средними показателями по стаду (таблица 2, рис. 1).

Из представленных в таблице данных видно, что удой на фуражную корову в целом по хозяйству составил 9811 кг и был выше, чем по ферме с привязным содержанием на 173 кг и ниже, чем на ферме с использованием беспривязного содержания и доения при помощи робота на 1148 кг. Разница по показателю удою за 305 дней лактации была в пользу усредненного удою по хозяйству у коров при привязном содержании на 227 кг или на 2,5% и в пользу беспривязного содержания на 1456 кг или 13,3%. Молоко, полученное от коров при беспривязном содержании и доении роботом, имело более высокие качественные показатели по МДЖ и МДБ в молоке, от них было получено больше молочного жира и молочного белка за лактацию на 90 (среднее по стаду) — 101 кг (привязное содержание).

Таким образом, проведенная реконструкция старых корпусов по облегченной ресурсосберегающей технологии и покупка роботизированной технологии машинного доения коров вывела показатели производства молока на более высокий уровень. Основное поголовье пока находится на привязном содержании и уровень его

продуктивности остался на прежнем уровне, как в среднем по стаду, где большее поголовье содержится на привязи и доение осуществляется в молокопровод.

Графическая интерпретация данных представлена на рисунке 1.

При применении роботизированного доения наблюдается увеличение удою на фуражную корову, по сравнению со средним по стаду на 1148 кг или на 11,7%.

При изучении качественных показателей молочной продуктивности был проведен сравнительный анализ по содержанию жира и белка в молоке в сравнении со средним по стаду и в зависимости от способа содержания (рис. 2).

Рис. 1. Молочная продуктивность коров, кг

Fig. 1. Dairy productivity of cows, kg

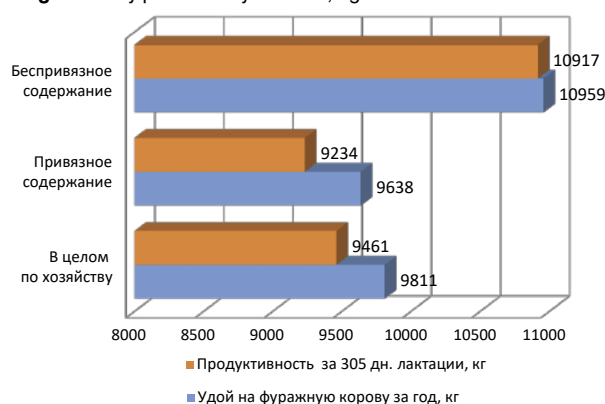


Рис. 2. Содержание жира и белка в молоке коров, %

Fig. 2. Fat and protein content in cow's milk, %

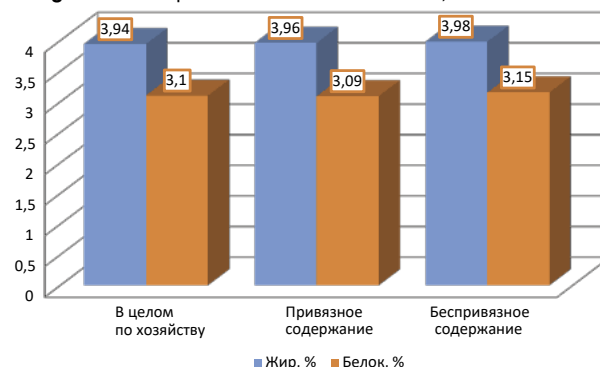


Таблица 2. Показатели молочной продуктивности коров в сравнительном аспекте со средним по стаду

Table 2. Indicators of dairy productivity of cows in comparative terms with the herd average

Показатели	В целом по хозяйству	Привязное содержание	Беспривязное содержание
		доение коров в молокопровод АДМ-8	доильным роботом
Удой на фуражную корову за год, кг	9811	9638 ± 236, 12**	10959 ± 178,21
Продуктивность за 305 дн. лактации, кг	9461	9234 ± 212,34**	10917 ± 156,19
Суточный удой, кг	31,0	30,28 ± 0,96***	35,76 ± 0,69
Жир, %	3,94	3,96 ± 0,02	3,98 ± 0,01
Белок, %	3,10	3,09 ± 0,01**	3,15 ± 0,01
Молочный жир, кг	387	382 ± 6,48**	436 ± 6,82
Молочный белок, кг	304	298 ± 3,42***	345 ± 2,85
Количество жира и белка, кг	691	680 ± 7,12*	781 ± 6,98
Молоко базисной жирности, кг	10753	10571	12167

Примечание: * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$

В хозяйстве при применении роботизированного доения наблюдается достоверное ($p \leq 0,05$) увеличение содержания жира в молоке на 0,02-0,04% в опытных группах по сравнению со средним по хозяйству. По содержанию белка в молоке при $p \leq 0,01$ достоверно выше при беспривязном содержании коров.

Применение доильных роботов позволяет оценивать состояние каждой из четвертей вымени и своевременно выявлять признаки мастита. Для диагностики субклинических маститов используются два параметра — электропроводность и температура молока. Для большей точности диагностики мастита существует компьютерный анализ трех переменных величин — надоя, температуры и электропроводности молока.

Санитарно-гигиенические параметры молока также рассмотрены в рамках настоящей работы (табл. 3).

Молоко — это продукт питания, поэтому к нему предъявляются жесткие требования по безопасности для человека, к которым относятся санитарно-гигиенические показатели, установленные в ГОСТ 52054 — 2023¹³.

Все молоко, полученное при доении роботом, на 100% высшего сорта. При привязном содержании в связи с большей загрязненностью молока по бактериальной обсемененности свыше 100 тыс. микробных тел/см³, а также в связи с увеличением количества соматических клеток, особенно в переходные периоды года, молоко относится к первому сорту, а 3% молока сдаетс 2 сортом.

Выводы/Conclusion

Технология беспривязного содержания в сочетании с роботизированным доением является более эффективной для реализации генетического потенциала молочной продуктивности коров голштинской породы в условиях Среднего Урала по сравнению с традиционной привязной системой.

Установлено, что беспривязное содержание с роботизированным доением обеспечивает достоверное увеличение массовой доли белка в молоке на 0,06 процентных пункта ($p \leq 0,01$) и тенденцию к повышению жирности на 0,02 п.п., что в пересчете на молоко базисной жирности дает прирост 1596 кг на корову за лактацию (15,1%).

Научная значимость заключается в получении новых экспериментальных данных о величине и достоверности прироста количественных (удой +18,2%) и качественных (белок +0,06 п.п., КСК в 2,5 раза ниже) показателей в специфических эколого-хозяйственных условиях.

Установлено, что ключевым преимуществом роботизированного доения является не только рост продуктивности, но и значительное улучшение

Таблица 3. Качество молока коров при доении роботом
Table 3. Cow milk quality during robot milking

Показатели	Привязное содержание	Беспривязное содержание
	доение коров в молокопровод АДМ-8	доение коров роботом
Жир, %	3,96 ± 0,02	3,98 ± 0,01
Белок, %	3,09 ± 0,01**	3,15 ± 0,01
Плотность, °А	30,4 ± 0,34	29,5 ± 0,54
Температура замерзания, °С	-0,544 ± 0,023	-0,546 ± 0,003
Кислотность, °Т	16,0	16,0
Механическая загрязненность, группа	1	1
Бактериальная обсемененность молока, тыс./см ³	143 ± 9,5	98 ± 7,2
Наличие соматических клеток, тыс./см ³	163 ± 12,9	130 ± 17,1
Сорт	первый	высший

Примечание: ** - $p \leq 0,01$

санитарно-гигиенических показателей молока, выражающееся в стабильном получении продукции высшего сорта за счет снижения бактериальной обсемененности и контроля над субклиническими маститами.

Сравнение со средними показателями по хозяйству показало, что роботизированная группа превышает общестадный уровень по удою за 305 дней лактации на 1456 кг (13,3%), в то время как привязная группа отстает на 227 кг (2,5%). Это свидетельствует о том, что модернизация даже части стада создает «технологический якорь» для роста средних показателей хозяйства.

Практическая значимость состоит в обосновании преимуществ беспривязно-роботизированной технологии для хозяйств Среднего Урала по модернизации ферм: внедрение данной технологии позволяет хозяйствам повысить рентабельность за счет увеличения выхода товарной продукции более высокого качества и стоимости. Полученные результаты позволяют рекомендовать беспривязно-роботизированную технологию для внедрения в хозяйствах Свердловской области и других регионов со сходными природно-климатическими условиями, особенно при реконструкции молочных ферм.

Проведенный анализ показал, что модернизация путем перевода части стада на беспривязно-роботизированную технологию положительно влияет на средние показатели по хозяйству, создавая стимул для роста. Результаты данного исследования свидетельствуют о целесообразности поэтапного внедрения роботизированного доения для повышения эффективности молочного скотоводства в регионах России, обеспечивая

¹³ ГОСТ Р 52054-2023 Молоко коровье сырое. Технические условия

переход от экстенсивной модели к высокотехнологичному, ресурсосберегающему и биобезопасному производству.

Для подтверждения долгосрочной эффективности технологии целесообразно проведение

дальнейших исследований, включающих оценку пожизненной продуктивности, воспроизводительной способности и экономической эффективности роботизированного доения с учетом затрат на оборудование и энергоносители.

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.

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Pereira G., Bexiga R. A retrospective cohort study investigating the association of environment, milk performance and udder health with the yield and solid content of first-milking colostrum in Holstein dairy cows. *BMC Veterinary Research*. 2025; 21: 456. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04909-3>
- 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(6A): 368–380. <https://doi.org/10.34670/AR.2023.70.69.043>
- Гриценко С.А., Костомахин Н.М. Динамика показателей выращивания ремонтных телок в условиях животноводческого предприятия. *Главный зоотехник*. 2023; (11): 3–9. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2311-01>
- Осипова В.И., Кривикова А.Н. Зависимость репродуктивных качеств коров голштинской породы от уровня их молочной продуктивности. *Современное состояние животноводства и тенденции его развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции*. М.: Академия Принт. 2025; 121–124. EDN OTZJHI
- Кислякова Е.М., Исупова Ю.В., Кузнецова М.К. Реализация геномного прогноза молочной продуктивности в разных технологических условиях. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024; (2): 96–103. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_2_96-103
- Чеченихина О.С., Смирнова Е.С. Биологические и продуктивные особенности коров черно-пестрой породы при различной технологии доения. *Молочнохозяйственный вестник*. 2020; (1): 90–102. EDN UEOGV
- 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 MLVBVL
- Сафронов С.Л., Костомахин 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.: РГАУ–МСХА. 2022; 1: 223–227. EDN DRQJGH
- 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
- 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>
- Ражина Е.В., Лоретц О.Г. Влияние генетического потенциала на молочную продуктивность голштинизированного черно-пестрого скота. *От импортозамещения к экспортному потенциалу: научное обеспечение инновационного развития животноводства и биотехнологий. Сборник материалов международной научно-практической конференции*. Екатеринбург: Уральский ГАУ. 2021; 213–214. EDN YFPFOW
- Gorelik O.V., Likhodeevskaya 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>
- Костомахин Н.М., Габедва М.А., Воронкова О.А. Молочная продуктивность и продолжительность хозяйственного использования голштинизированных коров разной линейной принадлежности. *Главный зоотехник*. 2018; (4): 3–9. EDN YVJFIF
- 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>
- 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 ГСХА. 2022; 139–143. EDN RVWKJV
- Davis L., French E., Aguerre M.J., Ali A. The Short-Term Effects of Altering Milking Intervals on Milk Production and Behavior of Holsteins Milked in an Automated Milking System. *Dairy*. 2024; 5(3): 403–418. <https://doi.org/10.3390/dairy5030032>
- Kathhöfer P. et al. Milking System Changeover and Effects Thereof on the Occurrence of Intramammary Infections in Dairy Cows. *Ruminants*. 2025; 5(1): 1. <https://doi.org/10.3390/ruminants5010001>

REFERENCES

- Pereira G., Bexiga R. A retrospective cohort study investigating the association of environment, milk performance and udder health with the yield and solid content of first-milking colostrum in Holstein dairy cows. *BMC Veterinary Research*. 2025; 21: 456. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04909-3>
- 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(6A): 368–380 (in Russian). <https://doi.org/10.34670/AR.2023.70.69.043>
- Gritsenko S.A., Kostomakhin N.M. Dynamics of indicators of replacement heifers rearing under the conditions of an animal husbandry enterprise. *Head of animal breeding*. 2023; (11): 3–9 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2311-01>
- Osipova V.I., Krovikova A.N. The relationship between the reproductive qualities of Holstein cows and their milk productivity. *Current state of animal husbandry and its development trends. Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference*. Moscow: Akademiya Print. 2025; 121–124 (in Russian). EDN OTZJHI
- Kislyakova E.M., Isupova Yu.V., Kuznetsova M.K. Implementation of genomic prognosis of milk productivity in different technological conditions. *Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024; (2): 96–103 (in Russian). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_2_96-103
- Chechenikhina O.S., Smirnova Ye.S. Biological and productive features of black-mottley cows with various milking techniques. *Molochnokhosyaistvenny Vestnik*. 2020; (1): 90–102 (in Russian). EDN UEOGV
- Dunin I.M., Tyapugin S.E., Meshcherov R.K., Khodykov V.P., Meshcherov Sh.R., Nikulkin N.S. Breeding of Holstein cattle on the territory of the Russian Federation. *Zootekhnika*. 2020; (2): 5–8 (in Russian). EDN MLVBVL
- Safronov S.L., Kostomakhin N.M., Solovyova O.I., Ostroukhova V.I., Kulmakova N.I. Milk productivity and longevity of cows in the conditions of industrial milk production technology. *Breeding and technological aspects of intensifying the production of livestock products. Based on the Proceedings from 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
- Pavlova T.V., Novik S.N. The duration of economic use and milk productivity of cows of different genotypes in the SEC "Lyakhovichsky". *Animal agriculture and veterinary medicine*. 2017; (2): 31–37 (in Russian). EDN YMNEAU
- 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>
- Razhina Ye.V., Loretts O.G. Influence of genetic potential on milk productivity of Holsteinized Black-and-White cattle. *From import substitution to export potential: scientific support for innovative development of animal husbandry and biotechnology. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2021; 213–214 (in Russian). EDN YFPFOW
- Gorelik O.V., Likhodeevskaya 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>
- Kostomakhin N., Gabadava M., Voronkova O. Milk productivity and duration of the economic use of holsteinized cows of different liner origin. *Head of animal breeding*. 2018; (4): 3–9 (in Russian). EDN: YVJFIF
- 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>
- Nazarchenko O.V., Tsopanov A.V., Denisov S.A., Evshikov S.S. The Holsteins [sic!] 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 RVWKJV
- Davis L., French E., Aguerre M.J., Ali A. The Short-Term Effects of Altering Milking Intervals on Milk Production and Behavior of Holsteins Milked in an Automated Milking System. *Dairy*. 2024; 5(3): 403–418. <https://doi.org/10.3390/dairy5030032>
- Kathhöfer P. et al. Milking System Changeover and Effects Thereof on the Occurrence of Intramammary Infections in Dairy Cows. *Ruminants*. 2025; 5(1): 1. <https://doi.org/10.3390/ruminants5010001>

18. Козлова В.С., Калмыкова О.А. Продуктивные качества коров голштинской породы при разных технологиях доения. *Аграрная наука — 2022. Материалы Всероссийской конференции молодых исследователей*. М.: РГАУ-МСХА. 2022; 426–429. EDN SPXBKX

19. Faid-Allah E., Mourad R.S., Saddick E.I., Eldahshan E. Managerial factors affecting milking-abilities of Holstein cattle under intensive production system in Egypt. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57(1): 23. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04271-w>

20. de Freitas J.A., Tao S., Daley V.L., Filho L.M.A., da Fonseca M.S., Fernandes S.R. Dairy cow behavior in a robotic milking system. *Semina: Ciências Agrárias*. 2025; 46(5): 1465–1484. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n5p1465>

21. Samoré A.B. et al. Bimodality and the genetics of milk flow traits in the Italian Holstein-Friesian breed. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94(8): 4081–4089. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3611>

22. Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Молочная продуктивность коров-дочерей голштинских быков-производителей. *Аграрная наука*. 2025; (7): 85–91. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-85-91>

23. Шальнев О.В., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Иргашев Т.А. Сопреженность возраста первого осеменения телок с продуктивностью коров в зависимости от возраста в лактации. *Аграрная наука*. 2025; (12): 76–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-76-84>

24. 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>

25. Харлап С.Ю., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Динамика молочной продуктивности коров по лактациям в зависимости от степени инбридинга. *Аграрная наука*. 2025; (5): 75–80. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-75-80>

18. Kozlova V.S., Kalmykova O.A. Productive qualities of Holstein cows under different milking technologies. *Agricultural science-2022. Proceedings of the All-Russian Conference of Young Researchers*. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. 2022; 426–429 (in Russian). EDN SPXBKX

19. Faid-Allah E., Mourad R.S., Saddick E.I., Eldahshan E. Managerial factors affecting milking-abilities of Holstein cattle under intensive production system in Egypt. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57(1): 23. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04271-w>

20. de Freitas J.A., Tao S., Daley V.L., Filho L.M.A., da Fonseca M.S., Fernandes S.R. Dairy cow behavior in a robotic milking system. *Semina: Ciências Agrárias*. 2025; 46(5): 1465–1484. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n5p1465>

21. Samoré A.B. et al. Bimodality and the genetics of milk flow traits in the Italian Holstein-Friesian breed. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94(8): 4081–4089. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3611>

22. Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Dairy productivity of cows-daughters of Holstein bulls-producers. *Agrarian science*. 2025; (7): 85–91 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-85-91>

23. Shalnev O.V., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Irgashev T.A. The correlation of the age of the first insemination of heifers with the productivity of cows depending on the age in lactation. *Agrarian science*. 2025; (12): 76–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-76-84>

24. 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>

25. Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Dynamics of dairy productivity of cows by lactation, depending on the degree of inbreeding. *Agrarian science*. 2025; (5): 75–80 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-75-80>

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, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник²;

• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³

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

SPIN-код: 4919-4638 AuthorID: 1236609

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, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher²;

• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³

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

SPIN code: 4919-4638 AuthorID: 1236609

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

О.С. Яковлева ✉

Т.Е. Денискова

О.А. Кошкина

А.В. Доцев

А.Д. Соловьева

Н.А. Зиновьева

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, Московская обл.,
Россия

✉ olya111011@gmail.com

Поступила в редакцию: 24.02.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Яковлева О.С., Денискова Т.Е.,
Кошкина О.А., Доцев А.В., Соловьева А.Д.,
Зиновьева Н.А.

Olga S. Yakovleva ✉

Tatiana E. Deniskova

Olga A. Koshkina

Arsen V. Dotsev A.

Anastasia D. Solovieva

Natalia A. Zinovieva

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow
Region, Russia

✉ olya111011@gmail.com

Received by the editorial office: 24.02.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Yakovleva O.S., Deniskova T.E.,
Koshkina O.A., Dotsev A.V., Solovieva A.D.,
Zinovieva N.A.

Характеристика генетической резистентности к вирусу висна-маеди у пород овец, разводимых в России

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Лентивирусы мелких жвачных животных (SRLV), в том числе вирус Висна-Маеди (VMV) овец, — заболевания, вызывающие хронические прогрессирующие воспалительные процессы, поражающие нервную систему, легкие, молочную железу, суставы. Вирус характеризуется генетической вариабельностью, поэтому действенной экономически-рентабельной терапией и вакцинации от этой болезни не существует. В исследованиях зарубежных авторов, посвященных данной проблеме, были установлены межпородные различия в резистентности к данному вирусу. Для российских пород овец таких сведений практически нет. Самым достоверным маркером генетической устойчивости к VMV является ген овечьего трансмембранного белка 154 (*TMEM154*). Цель исследования — провести сравнительную характеристику параметров аллельного разнообразия российских пород овец по SNP гена *TMEM154*, ассоциированного с генетической устойчивостью к VMV.

Методы. Материалом для исследования послужили образцы биоматериала (ткани) овец, содержащихся в ПЗ «Ладожский» и из биоресурсной коллекции «Банк генетического материала домашних и диких видов животных и птицы». Генотипы овец, ассоциированные с устойчивостью к VMV, определяли при помощи амплификации фрагмента SNP OAR17_5388531 гена *TMEM154* методом ПЦР в реальном времени.

Результаты. Анализ полиморфизма гена *TMEM154* показал наличие в изучаемых выборках двух аллелей — С и Т и трех генотипов — ТТ, СТ и СС. Были получены данные о распределении генотипов, ассоциированных с устойчивостью к VMV для популяций 18 российских пород овец.

Ключевые слова: домашние овцы, локальные породы, ген трансмембранного протеина 154 (*TMEM154*), генотип, генетическая резистентность, вирус Висна-Маеди, лентивирусная инфекция

Для цитирования: Яковлева О.С., Денискова Т.Е., Кошкина О.А., Доцев А.В., Соловьева А.Д., Зиновьева Н.А. Характеристика генетической резистентности к вирусу Висна-Маеди у пород овец, разводимых в России. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 84–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-84-94>

Characteristics of genetic resistance to Maedi-Visna in sheep breeds raised in Russia

ABSTRACT

Relevance. Small Ruminant Lentiviruses (SRLVs), including the Visna-Maedi Virus (VMV) in sheep, induce chronic progressive inflammation primarily targeting the nervous system, lungs, mammary glands, and joints. These viruses exhibit significant genetic variability, leading to a lack of effective therapies or vaccines at an affordable cost. Foreign research has identified breed-specific variations in genetic resistance to these pathogens, but such comparative data remain largely unexplored for Russian sheep breeds. A reliable DNA marker of genetic resistance to VMV infection is the ovine transmembrane protein 154 (*TMEM154*) gene. This study aimed to evaluate the allelic diversity among different Russian sheep breeds through targeted SNP within the *TMEM154* gene linked to genetic resistance.

Methods. The study utilized biological samples (tissues) of sheep maintained at the Ladozhsky PZ and from the biobank repository titled “Genetic Materials Bank of Domestic and Wild Animals.” To identify specific mutations correlated with resistance to VMV, fragments encompassing the target SNP (OAR17_5388531) within the *TMEM154* gene were amplified via RT-PCR.

Results. Analysis of *TMEM154* polymorphisms uncovered two distinct alleles (C and T) along with their corresponding genotypes: TT, CT, and CC. Genotype distributions associated with resistance to the Visna-Maedi virus across eighteen diverse Russian sheep breeds have been documented.

Key words: Russian sheep breeds, transmembrane protein 154 gene (*TMEM154*), genotype, genetic resistance, Visna-Maedi, lentivirus infection

For citation: Yakovleva O.S., Deniskova T.E., Koshkina O.A., Dotsev A.V., Solovieva A.D., Zinovieva N.A. Characteristics of genetic resistance to Maedi-visna in sheep breeds raised in Russia. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 84–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-84-94>

Введение/Introduction

Вирус Visna/Maedi, относящийся к лентивирусам мелких жвачных (SRLV), вызывает у овец и коз хроническое прогрессирующее заболевание (известное как вирус Висна-Маеди VMV или вирус прогрессирующей пневмонии овец OPPV) [1–4]. Эти вирусы негативно отражаются на здоровье, снижают продуктивность и продолжительность жизни, в связи с чем являются одной из основных причин производственных потерь в отрасли овцеводства [5–7]. SRLV поражают иммунную систему, инфицируя моноциты и макрофаги, что приводит к длительному инкубационному периоду, часто составляющему несколько лет [8–10]. К моменту появления явных признаков болезни и ее диагностики уровень заражения во многих стадах уже превышает 50% [11]. Инфекция наносит значительный экономический ущерб: в пораженных восприимчивых стадах смертность может достигать 30% [11], а у субклинически больных животных снижаются иммунитет, плодовитость и продуктивность [12–15].

Клинические проявления SRLV-инфекций у овец зависят от штамма вируса и включают хронические прогрессирующие воспалительные поражения: пневмонию, энцефалит, мастит [16] и артрит [16–19], которые в тяжелых случаях приводят к гибели [1]. Основной путь заражения ягнят — алиментарный (через молозиво и молоко инфицированных маток) [17–20]. Также существенна горизонтальная передача через респираторные выделения [16–21]. Роль трансплацентарного пути и заражения через сперму изучена недостаточно [22].

Вирус Висна-Маеди (VMV) впервые зарегистрирован в Исландии в 1939 году, предположительно завезен из Германии. Несмотря на явную клиническую картину, долгое время проблема недооценивалась [11, 22, 23]. Впоследствии заболевание распространилось в другие страны через торговлю племенными животными, включая Данию (1968), Канаду (1970), Венгрию (1972), Францию (1976), Норвегию (1979) и Финляндию (1994) [23]. В настоящее время VMV распространен по всему миру, за исключением Исландии, Новой Зеландии и Австралии, которые считаются регионами, свободными от VMV, но не свободными от CAEV (caprine arthritis-encephalitis virus — вирус артрита и энцефалита у коз) [23–26]. В средиземноморских странах с развитым овцеводством (Испания, Италия, Греция) отмечается высокая серопреvalентность инфекции [27]. Учитывая эти данные и осознавая важность проблемы, ряд европейских государств (включая Францию, Германию, Нидерланды, Испанию, Италию и Швейцарию) внедрили программы по ликвидации заболевания, однако их эффективность оказалась ограниченной. Крупномасштабные национальные программы мониторинга редки из-за высоких финансовых затрат, поэтому большинство данных о распространенности вируса носят локальный характер.

Высокая генетическая изменчивость лентивирусов [28] затрудняет создание эффективных вакцин. Многочисленные попытки их разработки оказались безуспешными, некоторые экспериментальные вакцины даже усиливали инфекцию [29, 30]. Лечение лентивирусных инфекций антиретровирусными препаратами считается нерентабельным, что повышает интерес к селекции на генетическую устойчивость к VMV.

Геном SRLV состоит из двух цепей одноцепочечной РНК (~9 т.п.н.) и содержит три структурных (*gag*, *pol*, *env*) и три регуляторных гена (*tat*, *vif*, *rev*), фланкированных длинными терминальными повторами (LTR). На основе филогенетического анализа генов *gag* и *pol* вирусы делятся на пять основных генотипических групп (А–Е), каждая с несколькими подтипами [31]. Межгрупповые различия в нуклеотидных последовательностях достигают 25–37%, внутригрупповые (между подтипами) — 15–27%. [28]. В то время как генотипические группы А и В встречаются повсеместно, распространение групп С–Е носит локальный характер [31–33].

Современные методы генетического анализа позволили идентифицировать потенциальные гены-кандидаты, связанные с устойчивостью или восприимчивостью к VMV у домашних овец (*Ovis aries*) различных пород, такие как: *ovardrb1*, *MHC-DRB2*, *MHC-Class I* [34–36], *CCR5* [36–38], *DPPA2*, *DPPA4* и *SYTL3* [39,40], *TLR9* [41] и *ZNF389* [42], *SYTL3*, *GTF2H5*, *DYNLT1*, *GRIN2B*, *TMEM 232* [43], *GTF2H5*, *DYNLT1*, *TMEM181*, *C19orf42/TMEM38A*, *NWD1*, *MED26*, *SLC35E1*, *CHERP* *ZNF192*, *ZSCAN16*, *ZSCAN16*, *ZNF165*, *ZNF389* [44], *IL2*, *IL8*, *IL12β*, *TNFα*, *TLR3*, *TLR4*, *TLR7*, *TLR8*, *TLR9* [44].

Тем не менее, ген *TMEM154* (ген трансмембранного белка 154) был описан в качестве основного гена-кандидата, связанного с восприимчивостью/устойчивостью к VMV [58]. Данная ассоциация получила независимое подтверждение в исследованиях различных пород овец из разных стран мира [38, 61–67].

У человека описан ортолог гена *TMEM154*, продукт которого — белок гальванин является одноканальным трансмембранным белком, необходимым для направленной электрическим полем миграции отдельных быстро движущихся клеток. Этот белок функционирует в иммунных и в эпителиальных клетках. Направленная миграция иммунных и эпителиальных клеток важна для их быстрой реакции на повреждение тканей или инфекцию. Предполагается, что эндогенные электрические поля, генерируемые при нарушении трансэпителиального потенциала кожи, играют важную роль в направлении клеток к местам ран, но как именно отдельные клетки воспринимают эти физические сигналы на уровне ткани остается неизвестным. При воздействии электрического поля на клетки гальванин быстро перемещается на анодную сторону клетки, и суммарный заряд

Таблица 1. Гены-кандидаты и SNP, ассоциированные с устойчивостью / восприимчивостью к VMV, у разных пород домашних овец (*Ovis aries*)

Table 1. Candidate genes and SNPs associated with resistance/susceptibility to VMV in different domestic sheep breeds

Ген	Позиция SNP	Функция	Ссылка
<i>ovar-DRB1</i>	19:54980459	Плодовитость, иммунный ответ против различных заболеваний, компонент комплекса гистосовместимости MHC класса II, кодирует антиген-презентирующие рецепторные гликопротеины, и играет важнейшую роль в распознавании пептидов патогенов и представлении их T-лимфоцитам	[26, 27, 45]
<i>CCR5</i>	19:52961717	Хемокиновый (C-C мотив) рецептор 5 (CCR5) регулирует привлечение иммунных клеток при воспалении	[36-38, 46-47]
<i>TMEM232</i>	5:106844551	Мутации в этом гене приводят к развитию иммунных нарушений, возникновению аллергического ринита, метилированные участки гена <i>TMEM232</i> коррелируют с рассеянным склерозом	[34]
<i>GRIN2B</i>	3:201785779	Играет роль в болевом ответе, синаптической передаче и кластеризации рецепторов. Белок, кодируемый этим геном, является субъединицей канала NMDA-рецептора для связи между нейронами, потенциально вовлечен в нарушения нейроразвития	[34]
<i>SYTL3</i>	8:82158519	Участвует в везикулярном переносе, (Synaptotagmin-Like 3), является периферическим мембранным белком, который взаимодействует с <i>RAB27A</i> (<i>RAB27A</i> , членом семейства онкогенов <i>RAS</i>). <i>RAB27A</i> необходим для сборки вируса, а <i>SYTL3</i> может препятствовать сборке <i>RAB27A</i> . Кроме того, <i>RAB27A</i> является негативным регулятором фагоцитоза и участвует в синтезе экзосом. Таким образом, <i>SYTL3</i> может влиять на любой из этих процессов.	[30, 48]
<i>ZNF192, ZSCAN16, ZSCAN16, ZNF165, ZNF389</i>	20:29213047	Белки кластера цинковых пальцев, предположительно могут препятствовать репликации лентивирусов	[28, 31, 35, 49]
<i>TMEM38A (C19orf42)</i>	5:6250424	Трансмембранный белок 38A, предположительно связан с упаковкой вируса, кодирует белок, связанный с контролем кровяного давления гладкими мышцами сосудов	[30]
<i>TNFα</i>	20: 26798126-26800865	Фактор некроза опухоли, цитокин, играющий ключевую роль в ответе иммунной системы на инфекционных паразитов	[35, 50]
<i>TLR3, TLR4, TLR7, TLR8, TLR9</i>	26:15361543-15372844; 2: 5924185-5934786; X:10947252-10950430; X: 10934005-10991722; 19: 48745264-48754630	<i>Toll</i> -подобные рецепторы, связаны с резистентностью ко многим инфекционным заболеваниям	[35, 47, 51]
<i>DPPA2, DPPA4</i>	1: 172600491	Участвуют в развитии и формировании легких, могут влиять на развитие или поддержание иммунной системы	[28, 52]
<i>TMEM154</i>	17:4862358	Ген трансмембранного белка 154, функция неизвестна	[3, 29, 36, 39, 47, 48, 53-60]

на его внеклеточном домене служит для обеспечения этой пространственной релокализации. Кроме того, экспрессия гальванина обеспечивает направленную электрическим полем миграцию эпителиальных клеток (электротаксис). Так же было установлено, что в нейтрофилах перераспределение гальванина сопровождается изменениями пространственной картины клеточного выпячивания и ретракции. Сильная направленная реакция этих клеток исчезает при укорачивании внутриклеточного домена гальванина, поэтому предполагается, что гальванин действует как прямой сенсор электрического поля, преобразуя пространственную информацию об электрической среде клетки во внутриклеточный миграционный аппарат. Этот механизм перераспределения сенсора, управляющий движением клеток, определяет новую парадигму направленной миграции клеток [66].

Предковый гаплотип *TMEM154* у овец является распространенным и кодирует белок-предшественник из 191 аминокислоты, который расщепляется до зрелого белка со 161 остатком. Два другие гаплотипа, кодирующие изоформы полипептида, также распространены у американских овец и вместе с предковым гаплотипом составляют более 97% в изучаемых выборках. Предковый гаплотип *TMEM154* (гаплотип 3) кодирует аминокислоту глутамат (E) в положении 35 и

аспарагин (N) в положении 70. Гаплотип 2 имеет мутацию изолейцина (I) в положении 70, а гаплотип 1 — мутацию лизина (K) в положении 35 [5]. В исследовании типа «случай-контроль» с участием 130 пар овец в возрасте от 4 до 9 лет, подобранных по длительности контакта с инфекцией, было установлено, что вероятность заражения у животных с одной копией гаплотипа 2 или 3 в 69 раз выше по сравнению с гомозиготами по гаплотипу 1 ($p < 0,0001$; 95% ДИ: 12–2800) [66]. В другом исследовании, охватившем 2705 овец из трех штатов США (Небраска, Айдахо, Айова) без подбора пар, было установлено 2,85-кратное увеличение относительного риска заражения у особей с гаплотипами 2 и 3 относительно гомозигот по гаплотипу 1 [58]. Также были обнаружены две встречающиеся в природе делеционные мутации *TMEM154*, *R4A(delta53)* и *E82Y(delta82)*, которые, как было предсказано, блокируют функцию белка. Особи, гомозиготные по *R4A(delta53)*, оставались здоровыми, продуктивными и неинфицированными, несмотря на длительный период значительного воздействия [67].

Помимо связи с восприимчивостью к инфекции ORPV, *TMEM154* также связан с провирусной нагрузкой у овец пород рамбулье (Rambouillet), полипей (Polypay) и Колумбия (Columbia) в США [39]. Результаты предыдущих исследований указывают на потенциальную эффективность селекционной

выбраковки овец, несущих аллели восприимчивости *TMEM154*, как метода контроля распространения OPPV и защиты отар от повторного заражения.

На основании вышеизложенного, становится очевидным, что широкое распространения хронических лентивирусных инфекций (SRLV), снижающих продуктивность и увеличивающих смертность животных, обуславливает значительные экономические потери в овцеводстве. Тогда как изучение генетических маркеров устойчивости, таких как ген *TMEM154*, позволит разработать эффективные стратегии селекции устойчивого поголовья, что особенно важно в условиях отсутствия действенных вакцин и методов лечения.

Несмотря на значительный объем зарубежных исследований SRLV, до настоящего времени не проводился систематический мониторинг российских пород овец на наличие данной инфекции. В связи с этим, проведение масштабного скрининга поголовья с целью контроля распространения лентивирусов представляется важнейшей задачей для развития отечественного овцеводства.

Цель исследования — охарактеризовать генетическую структуру российских пород овец по маркеру *TMEM154* (SNP OAR17_5388531) и сопоставить полученные частоты аллелей с данными литературы для предварительной оценки потенциальной предрасположенности пород к вирусу Висна-Маеди (VMV).

Материал и методы исследования / Material and methods

В качестве материала для исследования были использованы образцы биоматериала (ткань), полученные от овец, содержащихся в ПЗ «Ладожский», а также образцы ткани от представителей, имеющиеся в биоресурсной коллекции «Банк генетического материала домашних и диких видов животных и птицы» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (зарегистрирован Минобрнауки РФ № 498808): южная мясная ($n = 110$), эдильбаевская ($n = 49$), калмыцкая ($n = 30$), карачаевская ($n = 56$), лезгинская ($n = 103$), тувинская короткожирнохвостая ($n = 43$), горно-алтайская ($n = 24$), куйбышевская ($n = 96$), горная дагестанская ($n = 30$), грозненская ($n = 42$), сальская ($n = 48$), монгольская ($n = 68$), осетинская ($n = 63$), волгоградская ($n = 42$), катумская ($n = 13$), тушинская ($n = 27$), кулундинская ($n = 31$), андийская ($n = 27$).

Выделение ДНК для создания банка ДНК овец осуществлялось с использованием набора «ДНК-Экстран-2» (ЗАО «Синтол», Россия) согласно стандартному протоколу производителя. Измерение концентрации и проверка чистоты, исследуемой ДНК проведено с использованием приборов NanoDrop 8000 (Thermo Fisher Scientific, США)

и Qubit 4.0 (Thermo Fisher Scientific, США). Чистота образцов определена на основе соотношений A260/280 и A260/230, характеризующих оптическую плотность раствора при длинах волн 260 нм и 280 нм, 260 нм и 230 нм, соответственно.

Постановка полимеразной цепной реакции в реальном времени (RT-PCR) SNP OAR17_5388531 (rs414338245) была проведена согласно экспериментально подобранному составу реакционной смеси с оптимальными условиями проведения ПЦР [68] на амплификаторе Applied Biosystems QuantStudio 5(США).

В проводимом исследовании также были использованы данные генотипирования по SNP OAR17_5388531 (rs414338245), полученные в рамках выполнения предыдущих исследований [53], SNP- профили были сгенерированы с использованием ДНК-чипов Ovine SNP50 BeadChip (Illumina, San Diego, США) и Ovine Infinium® HD SNP BeadChip (600 K SNPs) (Illumina, San Diego, США).

Для популяционно-генетической характеристики групп изучаемых пород овец были определены параметры аллельного разнообразия, а именно распределение частот аллелей и генотипов фрагмента гена *TMEM154* с использованием критерия Харди-Вайнберга и применением программного обеспечения GenAlEx v. 6.5. (© Peakall and Smouse (2012), Австралия) [69].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ полиморфизма гена *TMEM154* показал наличие в изучаемых выборках овец двух аллелей — С и Т и трех генотипов - ТТ, СТ и СС. На рисунке 1 представлены многопараметрические графики результатов ПЦР-РВ для трех выявленных генотипов (ТТ, СТ и СС).

В таблице 2 представлены данные о частотах встречаемости аллелей (С и Т) фрагмента гена *TMEM154*, ассоциированного с восприимчивостью к вирусу Висна-Маеди, у овец из 18 пород.

Согласно исследованиям Heaton и др. [5], было установлено, что аллель С в положении SNP OAR17_5388531 находится в сильном неравновесии по сцеплению (LD) с аллелем E35 (глутаминовая кислота), который кодирует высоковосприимчивые гаплотипы 2 и 3. Следовательно, именно аллель С маркирует повышенную

Рис. 1. Многопараметрические графики фрагмента гена *TMEM154*
Fig. 1. Multiparameter plots of the *TMEM154* gene fragment

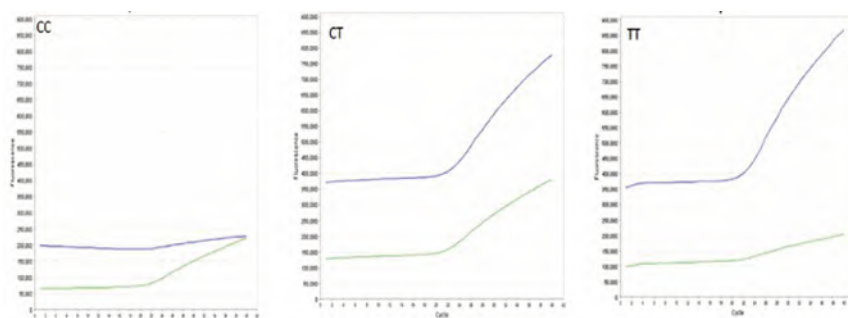


Таблица 2. Распределение частот встречаемости аллелей фрагмента гена *TMEM154*, связанного с восприимчивостью к вирусу Висна-Маеди у овец

Table 2. Distribution of allele frequencies of the *TMEM154* gene fragment associated with susceptibility to the Visna-Maedi virus in sheep

Порода	n	Частота аллеля	
		С	Т
андийская	27	98,15%	1,85%
волгоградская	42	52,38%	47,62%
горноалтайская	24	60,42%	39,58%
грозненская	42	36,91%	63,10%
дагестанская горная	30	36,67%	63,33%
калмыцкая	30	93,33%	6,67%
карачаевская	56	79,46%	20,54%
катумская	13	84,62%	15,39%
куйбышевская	96	53,13%	46,88%
кулундинская	31	14,52%	85,48%
лезгинская	103	85,44%	14,56%
монгольская	68	93,38%	6,62%
осетинская	63	81,75%	18,25%
сальская	48	36,46%	63,54%
тувинская короткожирнохвостая	43	95,35%	4,65%
тушинская	27	100%	0
эдилбаевская	49	92,86%	7,14%
южная мясная	110	54,09%	45,91%

восприимчивость к вирусу Висна-Маеди. В то время как аллель Т связан с аллелем К35 (лизин) — защитным гаплотипом 1, таким образом, именно наличие аллеля Т ассоциировано с пониженной восприимчивостью (устойчивостью).

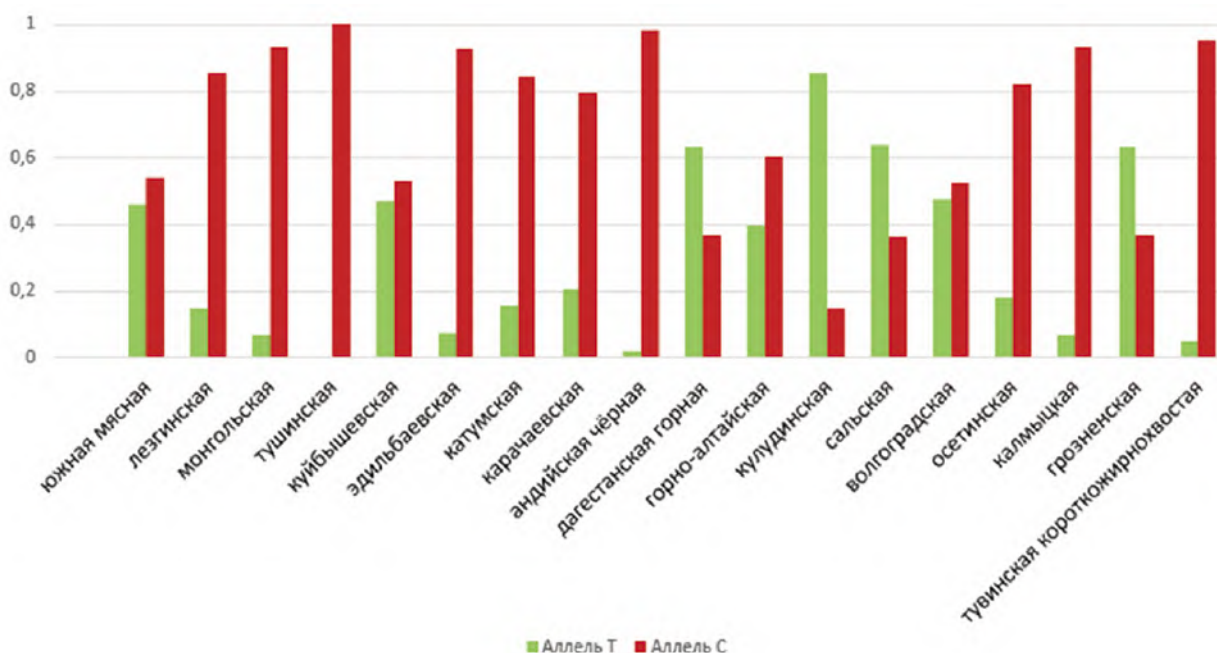
В результате проведенного исследования установлено доминирование аллеля С в исследуемых популяциях овец. Наиболее высокую

частоту аллеля Т (ассоциированного, по данным литературы, с устойчивостью [5]) продемонстрировали породы: кулундинская (85,48%), сальская (63,54%), дагестанская горная (63,33%) и грозненская (63,10%). Наиболее высокую частоту аллеля С (связанного в зарубежных исследованиях с восприимчивостью) показали породы: тушинская (100%), андийская черная (98,15%), монгольская (93,38%), тувинская короткожирнохвостая (95,35%), калмыцкая (93,33%) и эдилбаевская (92,86%). Наглядно распределение частот представлено на рисунке 2.

Согласно исследованиям Heaton и др. (2013), гаплотип *TMEM154*, кодирующий глутаминовую кислоту в положении 35 (E35), ассоциирован с повышенной восприимчивостью к SRLV и широко распространен в мировых популяциях [5, 29, 42]. Полученные частоты аллелей соответствуют данным мировых исследований, где аллель С ассоциирован с гаплотипом E35 и повышенной восприимчивостью. Однако для российских популяций эта ассоциация требует дальнейших исследований для подтверждения. Полученные в исследовании данные демонстрируют сходную картину: аллель С преобладает в большинстве изученных российских пород, что согласуется с глобальной распространенностью этого маркера. Породы с частотой С более 90% (тушинская, андийская черная, монгольская, тувинская, калмыцкая, эдилбаевская) могут рассматриваться как потенциально предрасположенные и заслуживают приоритетного внимания при планировании эпизоотологического мониторинга. В то же время кулундинская, сальская, дагестанская горная и грозненская породы, имеющие высокие частоты аллеля Т (63–85%), ассоциированного с К35,

Рис. 2. Распределение частот аллелей фрагмента гена *TMEM154*, связанного с восприимчивостью к вирусу Висна-Маеди у овец

Fig. 2. Distribution of allele frequencies of the *TMEM154* gene fragment associated with susceptibility to the Visna-Maedi virus in sheep



являются перспективными кандидатами для дальнейшей валидации их устойчивости и могут быть использованы в селекционных программах только после подтверждения ассоциации на российском материале с учетом инфекционного статуса животных.

Распределение частот аллелей фрагмента гена *TMEM154*, связанного с восприимчивостью к вирусу Висна-Маеди, у анализируемых популяций овец детально изложено в таблице 3 и отображено графически на рисунке 3.

Интерпретация полученных частот генотипов проведена на основе ассоциаций, установленных для иностранных популяций [5]. Прямые выводы об устойчивости или восприимчивости российских пород требуют дополнительной валидации с учетом инфекционного статуса животных. С учетом этого ограничения, распределение пород по частотам генотипов выглядит следующим образом:

Наибольшую долю гомозигот СС (генотип, ассоциированный с восприимчивостью) имеют тушинская (100%), андийская черная, тувинская короткожирнохвостая, калмыцкая, эдильбаевская и монгольская породы (от 85,71% до 100%). У этих пород гомозиготный генотип ТТ отсутствует, а частота гетерозигот СТ не превышает 14,29%.

Промежуточное положение занимают волгоградская, осетинская и южная мясная породы с долей СС от 28,57% до 44,45%, частотой СТ 47,62–52,38% и наличием генотипа ТТ (от 3,17% до 23,81%).

Наименьшую долю генотипа СС (от 0% до 14,58%) и наибольшую частоту генотипа ТТ (ассоциированного с устойчивостью) демонстрируют кулундинская, сальская, дагестанская горная,

Таблица 3. Распределение частот встречаемости генотипов гена *TMEM154* на выбранные популяции
Table 3. Distribution of the frequencies of *TMEM154* gene genotypes in selected populations

Порода	n	Доля животных с генотипом		
		СС	СТ	ТТ
андийская	27	96,30%	3,70%	0
волгоградская	42	28,57%	47,62%	23,81%
горноалтайская	24	50,00%	20,83%	29,17%
грозненская	42	11,90%	50,00%	38,10%
дагестанская горная	30	10,00%	50,00%	40,00%
калмыцкая	30	86,67%	13,33%	0
карачаевская	56	66,07%	28,57%	5,36%
катумская	13	69,00%	31,00%	0
куйбышевская	96	14,58%	77,08%	8,34%
кулундинская	31	0	32,26%	67,74%
лезгинская	103	73,00%	24,00%	2,00%
монгольская	68	86,76%	13,24%	0
осетинская	63	44,45%	52,38%	3,17%
сальская	48	14,58%	43,75%	41,67%
тувинская короткожирнохвостая	43	90,70%	9,30%	0
тушинская	27	100%	0	0
эдильбаевская	49	85,71%	14,29%	0
южная мясная	110	29,09%	51,82%	19,09%

грозненская и куйбышевская породы. Особенно выделяется кулундинская порода, у которой генотип СС отсутствует, а частота ТТ достигает 67,74%, что делает ее наиболее перспективным объектом для дальнейших исследований по валидации устойчивости.

Рис. 3. Распределение частот генотипов фрагмента гена *TMEM154*, связанного с восприимчивостью к вирусу Висна-Маеди у овец

Fig. 3. Distribution of genotype frequencies of the *TMEM154* gene fragment associated with susceptibility to the Visna-Maedi virus in sheep

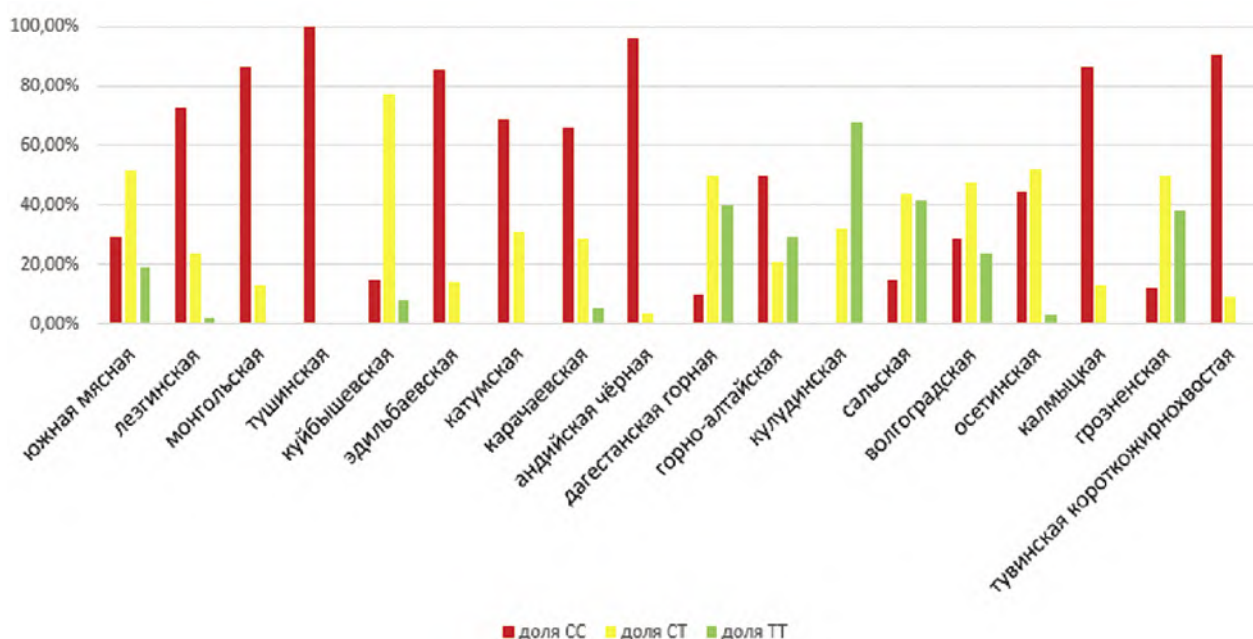
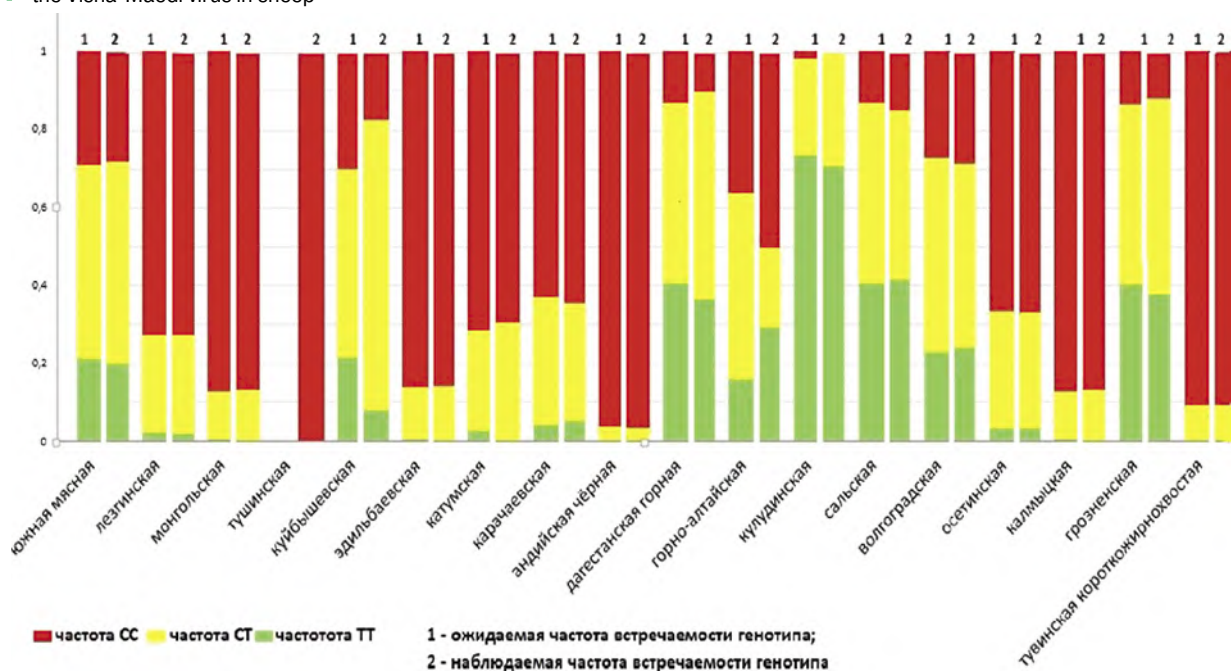


Рис. 4. Распределение ожидаемых и наблюдаемых частот генотипов фрагмента гена *TMEM154*, связанного с восприимчивостью к вирусу Висна-Маеди у овец

Fig. 4. Distribution of expected and observed genotype frequencies of the *TMEM154* gene fragment associated with susceptibility to the Visna-Maedi virus in sheep



В таблице 4 и на рисунке 4 сопоставлены ожидаемые и наблюдаемые частоты встречаемости генотипов CC, CT и TT.

Для подавляющего большинства пород отклонения наблюдаемых частот от ожидаемых не достигают статистически значимого уровня. В частности, равновесие Харди–Вайнберга соблюдается у андийской, волгоградской, грозненской, дагестанской горной, калмыцкой, карачаевской, катумской, кулундинской, лезгинской, монгольской, осетинской, сальской, тувинской короткожирнохвостой, эдильбаевской и южной мясной пород. Это свидетельствует о том, что в данных популяциях скрещивание происходит случайным образом, отсутствует выраженное давление отбора по изучаемому локусу. Такие породы являются генетически стабильными и пригодны для дальнейших популяционно-генетических исследований и селекционных программ.

Однако для двух пород (горноалтайская и куйбышевская) выявлены статистически значимые отклонения от равновесия Харди–Вайнберга. Для горноалтайской породы отмечено статистически значимое отклонение от равновесия Харди–Вайнберга, проявляющееся в дефиците гетерозигот при избытке обеих гомозигот, что может указывать на инбридинг или подразделенность популяции. У куйбышевской породы, напротив, выявлен избыток гетерозигот при дефиците обеих гомозигот, что характерно для миграции или межпородного скрещивания. Для тушинской породы расчет равновесия Харди–Вайнберга не проводился ввиду мономорфности локуса.

Таким образом, абсолютное большинство изученных пород (15 из 17) находятся в состоянии генетического равновесия по локусу *TMEM154*, что

Таблица 4. Частота встречаемости генотипов гена *TMEM154* у исследуемых популяций овец
Table 4. Frequency of occurrence of *TMEM154* gene genotypes in the studied sheep populations

Порода	n	Частота встречаемости генотипа						Достоверность
		СС		СТ		ТТ		
		Ожидаемая /наблюдаемая		Ожидаемая /наблюдаемая		Ожидаемая /наблюдаемая		
андийская	27	26	26	0,9	1	0	0	
волгоградская	42	11,5	12	20,9	20	9,5	10	
горноалтайская	24	3,7	7	11,4	5	8,7	12	***
грозненская	42	5,7	5	19,5	21	16,7	16	
дагестанская горная	30	4,03	3	13,9	16	12,03	11	
калмыцкая	30	26,1	26	3,7	4	0,13	0	
карачаевская	56	35,4	36	18,3	17	2,4	3	
катумская	13	9,3	9	3,3	4	0,3	0	
куйбышевская	96	27	17	47,8	74	21,09	8	***
кулундинская	31	0,6	0	7,6	9	22,6	22	
лезгинская	103	59,29	59	26,63	26	2,18	2	
монгольская	68	0,87	59	0,12	9	0,01	0	
осетинская	63	42,09	42	18,8	19	2,09	2	
Сальская	48	6,3	7	22,2	21	19,3	20	
тувинская короткожирно-хвостая	43	39,09	39	3,81	4	0,09	0	
тушинская	27	–	27	–	0	–	0	
эдильбаевская	49	42,25	42	6,5	7	0,25	0	
южная мясная	110	32,184	31	54,632	57	23,184	22	

Примечание: *** $p < 0,001$

подтверждает случайный характер скрещивания и отсутствие выраженного отбора. В то же время выявленные отклонения у горноалтайской и куйбышевской пород требуют дополнительного исследования с увеличением выборок и привлечением данных о родословных для установления точных причин нарушения равновесия Харди–Вайнберга.

Выводы/Conclusion

По результатам проведенного генотипирования по SNP OAR17_5388531 гена *TMEM154* у большинства изученных российских пород овец выявлено преобладание аллеля С, который, по данным зарубежных исследований [5], ассоциирован с восприимчивостью к вирусу Висна-Маеди. Это соответствует глобальной тенденции распространенности данного маркера. Лишь у четырех пород — кулундинской, сальской, дагестанской горной и грозненской — отмечена высокая частота аллеля Т (ассоциированного с устойчивостью), что выделяет их как потенциально ценные для дальнейших исследований.

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 средств Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FGGN-2024-0015).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. De Boer G.F. Zwoegerziekte virus, the causative agent for progressive interstitial pneumonia (maedi) and meningo-leucoencephalitis (visna) in sheep. *Research in Veterinary Science*. 1975; 18(1): 15–25. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)33625-7](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)33625-7)
2. Thormar H. Maedi-Visna Virus and its Relationship to Human Immunodeficiency Virus. *AIDS Reviews*. 2005; 7(4): 233–245.
3. Sait A., Ince O.B. Investigation of the Epidemiology of Small Ruminant Lentivirus Infections southeast part of the Marmara region of Turkey. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2023; 73(4): 5053–5060. <https://doi.org/10.12681/jhvms.29095>
4. Goujgoulouva G., Koev K. Clinical and pathological investigation of Maedi-visna outbreak in a farm from Bulgaria. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(11): 5772–5780. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i11.32>
5. Heaton M.P. *et al.* Genetic Testing for *TMEM154* Mutations Associated with Lentivirus Susceptibility in Sheep. *PLoS One*. 2013; 8(2): e55490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055490>
6. Kalogianni A.I., Bossis I., Ekateriniadou L.V., Gelasakis A.I. Etiology, Epizootiology and Control of Maedi-Visna in Dairy Sheep: A Review. *Animals*. 2020; 10(4): 616. <https://doi.org/10.3390/ani10040616>
7. Vincenz F., Samoilenko M., Abril C.E., Zanolari P., Bertoni G., Thomann B. A Look Under the Carpet of a Successful Eradication Campaign Against Small Ruminant Lentiviruses. *Pathogens*. 2025; 14(7): 719. <https://doi.org/10.3390/pathogens14070719>
8. Blacklows B.A., Harkiss G.D. Small Ruminant Lentiviruses and Human Immunodeficiency Virus: Cousins that Take a Long View. *Current HIV Research*. 2010; 8(1): 26–52. <https://doi.org/10.2174/157016210790416406>
9. Peluso R., Haase A., Stowring L., Edwards M., Ventura P. A Trojan Horse mechanism for the spread of visna virus in monocytes. *Virology*. 1985; 147(1): 231–236. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(85\)90246-6](https://doi.org/10.1016/0042-6822(85)90246-6)
10. Haase A.T. Pathogenesis of lentivirus infections. *Nature*. 1986; 322(6075): 130–136. <https://doi.org/10.1038/322130a0>
11. Narayan O., Clements J.E. Biology and Pathogenesis of Lentiviruses. *Journal of General Virology*. 1989; 70(7): 1617–1639. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-70-7-1617>
12. Sigurdsson B., Grímsson H., Pálsson P. Maedi, a Chronic, Progressive Infection of Sheep's Lungs. *The Journal of Infectious Diseases*. 1952; 90(3): 233–241. <https://doi.org/10.1093/infdis/90.3.233>
13. Koçkaya E.S. *et al.* Newly developed peptide-ELISA successfully detected anti-IgG antibodies against Maedi-Visna virus in sheep. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2024; 274: 110806. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2024.110806>
14. Keen J.E., Hungerford L.L., Littledike E.T., Wittum T.E., Kwang J. Effect of ewe ovine lentivirus infection on ewe and lamb productivity. *Preventive Veterinary Medicine*. 1997; 30(2): 155–169. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(96\)01101-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(96)01101-4)
15. Heaton M.P., Leymaster K.A., Clawson M.L. Association of *TMEM154* missense mutations with lentiviral infection and virus subtypes in sheep. *Proceedings of the 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*. 2014.
16. Clements J.E., Zink M.C. Molecular biology and pathogenesis of animal lentivirus infections. *Clinical Microbiology Reviews*. 1996; 9(1): 100–117. <https://doi.org/10.1128/cmr.9.1.100>
17. Jacob-Ferreira J., Coelho A.C., Grau Vila A., Lacasta D., Quintas H. Small Ruminant Lentivirus Infection in Sheep and Goats in North Portugal: Seroprevalence and Risk Factors. *Pathogens*. 2023; 12(6): 829. <https://doi.org/10.3390/pathogens12060829>

Вместе с тем, следует подчеркнуть, что все выводы о восприимчивости или устойчивости основаны на зарубежных ассоциациях и требуют подтверждения на российских популяциях с учетом инфекционного статуса (серологическим или ПЦР-статусом).

В связи с этим, полученные данные носят предварительный характер. Для внедрения маркер-ориентированной селекции требуется увеличение выборки и валидация ассоциации на российских популяциях с учетом распространенных штаммов вируса. На данном этапе генетический скрининг допустим только как вспомогательный инструмент для отбора кандидатов в углубленные исследования, но не как основа селекционных решений.

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 work was carried out by order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FGGN-2024-0015).

REFERENCES

1. De Boer G.F. Zwoegerziekte virus, the causative agent for progressive interstitial pneumonia (maedi) and meningo-leucoencephalitis (visna) in sheep. *Research in Veterinary Science*. 1975; 18(1): 15–25. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)33625-7](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)33625-7)
2. Thormar H. Maedi-Visna Virus and its Relationship to Human Immunodeficiency Virus. *AIDS Reviews*. 2005; 7(4): 233–245.
3. Sait A., Ince O.B. Investigation of the Epidemiology of Small Ruminant Lentivirus Infections southeast part of the Marmara region of Turkey. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2023; 73(4): 5053–5060. <https://doi.org/10.12681/jhvms.29095>
4. Goujgoulouva G., Koev K. Clinical and pathological investigation of Maedi-visna outbreak in a farm from Bulgaria. *Open Veterinary Journal*. 2025; 15(11): 5772–5780. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i11.32>
5. Heaton M.P. *et al.* Genetic Testing for *TMEM154* Mutations Associated with Lentivirus Susceptibility in Sheep. *PLoS One*. 2013; 8(2): e55490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055490>
6. Kalogianni A.I., Bossis I., Ekateriniadou L.V., Gelasakis A.I. Etiology, Epizootiology and Control of Maedi-Visna in Dairy Sheep: A Review. *Animals*. 2020; 10(4): 616. <https://doi.org/10.3390/ani10040616>
7. Vincenz F., Samoilenko M., Abril C.E., Zanolari P., Bertoni G., Thomann B. A Look Under the Carpet of a Successful Eradication Campaign Against Small Ruminant Lentiviruses. *Pathogens*. 2025; 14(7): 719. <https://doi.org/10.3390/pathogens14070719>
8. Blacklows B.A., Harkiss G.D. Small Ruminant Lentiviruses and Human Immunodeficiency Virus: Cousins that Take a Long View. *Current HIV Research*. 2010; 8(1): 26–52. <https://doi.org/10.2174/157016210790416406>
9. Peluso R., Haase A., Stowring L., Edwards M., Ventura P. A Trojan Horse mechanism for the spread of visna virus in monocytes. *Virology*. 1985; 147(1): 231–236. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(85\)90246-6](https://doi.org/10.1016/0042-6822(85)90246-6)
10. Haase A.T. Pathogenesis of lentivirus infections. *Nature*. 1986; 322(6075): 130–136. <https://doi.org/10.1038/322130a0>
11. Narayan O., Clements J.E. Biology and Pathogenesis of Lentiviruses. *Journal of General Virology*. 1989; 70(7): 1617–1639. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-70-7-1617>
12. Sigurdsson B., Grímsson H., Pálsson P. Maedi, a Chronic, Progressive Infection of Sheep's Lungs. *The Journal of Infectious Diseases*. 1952; 90(3): 233–241. <https://doi.org/10.1093/infdis/90.3.233>
13. Koçkaya E.S. *et al.* Newly developed peptide-ELISA successfully detected anti-IgG antibodies against Maedi-Visna virus in sheep. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2024; 274: 110806. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2024.110806>
14. Keen J.E., Hungerford L.L., Littledike E.T., Wittum T.E., Kwang J. Effect of ewe ovine lentivirus infection on ewe and lamb productivity. *Preventive Veterinary Medicine*. 1997; 30(2): 155–169. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(96\)01101-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(96)01101-4)
15. Heaton M.P., Leymaster K.A., Clawson M.L. Association of *TMEM154* missense mutations with lentiviral infection and virus subtypes in sheep. *Proceedings of the 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*. 2014.
16. Clements J.E., Zink M.C. Molecular biology and pathogenesis of animal lentivirus infections. *Clinical Microbiology Reviews*. 1996; 9(1): 100–117. <https://doi.org/10.1128/cmr.9.1.100>
17. Jacob-Ferreira J., Coelho A.C., Grau Vila A., Lacasta D., Quintas H. Small Ruminant Lentivirus Infection in Sheep and Goats in North Portugal: Seroprevalence and Risk Factors. *Pathogens*. 2023; 12(6): 829. <https://doi.org/10.3390/pathogens12060829>

18. Caroline L., Minardi C.J.C., Jean-Francois M. SRLVs: A Genetic Continuum of Lentiviral Species in Sheep and Goats with Cumulative Evidence of Cross Species Transmission. *Current HIV Research*. 2010; 8(1): 94–100. <https://doi.org/10.2174/157016210790416415>
19. Kalogianni A.I., Bossis I., Ekateriniadou L.V., Gelasakis A.I. Etiology, Epizootology and Control of Maedi-Visna in Dairy Sheep: A Review. *Animals*. 2020; 10(4): 616. <https://doi.org/10.3390/ani10040616>
20. AlSaad K.M., Lafta A.J., Lafta M.H., Ahmed J.A. Clinical and diagnostic study of ovine chronic progressive pneumonia (Maedi-Visna) in sheep of Basrah, Iraq. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 2025; 39(1): 15–23. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2024.152796.3833>
21. Liebler-Tenorio E.M., Moog U., Barth S.A., König P. Indurative Mastitis in einer Herde Dorperschafe als Folge einer Infektion mit dem Maedi-Visna-Virus. *Tierärztliche Praxis Großtiere/Nutztiere*, 2023; 51(3): 175–183. <https://doi.org/10.1055/a-2107-7834>
22. Kalogianni A.I., Bossis I., Ekateriniadou L.V., Gelasakis A.I. Etiology, Epizootology and Control of Maedi-Visna in Dairy Sheep: A Review. *Animals*. 2020; 10(4): 616. <https://doi.org/10.3390/ani10040616>
23. Blacklaws B.A. *et al.* Transmission of small ruminant lentiviruses. *Veterinary Microbiology*. 2004; 101(3): 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2004.04.006>
24. Peterhans E. *et al.* Routes of transmission and consequences of small ruminant lentiviruses (SRLVs) infection and eradication schemes. *Veterinary Research*. 2004; 35(3): 257–274. <https://doi.org/10.1051/vetres:2004014>
25. Illius A.W., Savill N.J. Maternal transmission of Small Ruminant Lentivirus has no epidemiological importance. *Preventive Veterinary Medicine*. 2024; 230: 106297. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106297>
26. Blacklaws B.A. Small ruminant lentiviruses: Immunopathogenesis of visna-maedi and caprine arthritis and encephalitis virus. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2012; 35(3): 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2011.12.003>
27. Christodoulouopoulos G. Maedi-Visna: Clinical review and short reference on the disease status in Mediterranean countries. *Small Ruminant Research*. 2006; 62(1–2): 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.046>
28. Ramírez H., Reina R., Amorena B., Andrés D.D., Martínez H.A. Small Ruminant Lentiviruses: Genetic Variability, Tropism and Diagnosis. *Viruses*. 2013; 5(4): 1175–1207. <https://doi.org/10.3390/v5041175>
29. Patel J.R., Heldens J.G.M., Bakonyi T., Rusvai M. Important mammalian veterinary viral immunodiseases and their control. *Vaccine*. 2012; 30(10): 1767–1781. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2012.01.014>
30. Gezer T., Akyüz E., Gökçe G. Investigation of Seroprevalence of Maedi-Visna Infection in Some Sheep Flocks in Kars Province, Turkey. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2021; 14(1): 48–51. <https://doi.org/10.47027/duvetfd.881430>
31. Shah C. *et al.* Phylogenetic analysis and reclassification of caprine and ovine lentiviruses based on 104 new isolates: evidence for regular sheep-to-goat transmission and worldwide propagation through livestock trade. *Virology*. 2004; 319(1): 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2003.09.047>
32. Gjerset B., Storset A.K., Rimstad E. Genetic diversity of small-ruminant lentiviruses: characterization of Norwegian isolates of *Caprine arthritis encephalitis virus*. *Journal of General Virology*. 2006; 87(3): 573–580. <https://doi.org/10.1099/vir.0.81201-0>
33. Grego E., Lacerenza D., Reina Arias R., Profitti M., Rosati S. Serological characterization of the new genotype E of small ruminant lentivirus in roccaverano goat flocks. *Veterinary Research Communications*. 2009; 33(S1): 137–140. <https://doi.org/10.1007/s11259-009-9266-8>
34. Herrmann-Hoesing L.M., White S.N., Mousel M.R., Lewis G.S., Knowles D.P. Ovine progressive pneumonia provirus levels associate with breed and *Ovar-DRB1*. *Immunogenetics*. 2008; 60(12): 749–758. <https://doi.org/10.1007/s00251-008-0328-9>
35. Laruskain A. *et al.* MHC class II *DRB1* gene polymorphism in the pathogenesis of Maedi-Visna and pulmonary adenocarcinoma viral diseases in sheep. *Immunogenetics*. 2010; 62(2): 75–83. <https://doi.org/10.1007/s00251-009-0419-2>
36. Yaman Y. *et al.* A novel 2 bp deletion variant in Ovine-*DRB1* gene is associated with increased Visna/maedi susceptibility in Turkish sheep. *Scientific Reports*. 2021; 11: 14435. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93864-8>
37. White S.N., Mousel M.R., Reynolds J.O., Lewis G.S., Herrmann-Hoesing L.M. Common promoter deletion is associated with 3.9-fold differential transcription of ovine *CCR5* and reduced proviral level of ovine progressive pneumonia virus. *Animal Genetics*. 2009; 40(5): 583–589. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2009.01882.x>
38. Molae V., Eltanany M., Lühken G. First survey on association of *TMEM154* and *CCR5* variants with serological maedi-visna status of sheep in German flocks. *Veterinary Research*. 2018; 49: 36. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0533-y>
39. White S.N. *et al.* Genome-Wide Association Identifies Multiple Genomic Regions Associated with Susceptibility to and Control of Ovine Lentivirus. *PLOS One*. 2012; 7(10): e47829. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047829>
40. White S.N., Knowles D.P. Expanding Possibilities for Intervention against Small Ruminant Lentiviruses through Genetic Marker-Assisted Selective Breeding. *Viruses*. 2013; 5(6): 1466–1499. <https://doi.org/10.3390/v5061466>
41. Sarafidou T. *et al.* Toll Like Receptor 9 (*TLR9*) Polymorphism *G520R* in Sheep Is Associated with Seropositivity for Small Ruminant Lentivirus. *PLOS One*. 2013; 8(5): e63901. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063901>
42. White S.N. *et al.* Association analysis of variant near *ZNF389* with ewe cumulative production in three sheep breeds. *Animal Genetics*. 2014; 45(4): 613–614. <https://doi.org/10.1111/age.12161>
43. Riggio S. *et al.* A high-density genome-wide approach reveals novel genetic markers linked to small ruminant lentivirus susceptibility in sheep. *Frontiers in Genetics*. 2024; 15: 1376883. <https://doi.org/10.3389/fgene.2024.1376883>
44. Laruskain A., Bernalés I., Luján L., de Andrés D., Amorena B., Jugo B.M. Expression analysis of 13 ovine immune response candidate genes in Visna/Maedi disease progression. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2013; 36(4): 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2013.02.003>
18. Caroline L., Minardi C.J.C., Jean-Francois M. SRLVs: A Genetic Continuum of Lentiviral Species in Sheep and Goats with Cumulative Evidence of Cross Species Transmission. *Current HIV Research*. 2010; 8(1): 94–100. <https://doi.org/10.2174/157016210790416415>
19. Kalogianni A.I., Bossis I., Ekateriniadou L.V., Gelasakis A.I. Etiology, Epizootology and Control of Maedi-Visna in Dairy Sheep: A Review. *Animals*. 2020; 10(4): 616. <https://doi.org/10.3390/ani10040616>
20. AlSaad K.M., Lafta A.J., Lafta M.H., Ahmed J.A. Clinical and diagnostic study of ovine chronic progressive pneumonia (Maedi-Visna) in sheep of Basrah, Iraq. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 2025; 39(1): 15–23. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2024.152796.3833>
21. Liebler-Tenorio E.M., Moog U., Barth S.A., König P. Indurative mastitis in a herd of Dorper sheep caused by an infection with Maedi Visna virus. *Tierärztliche Praxis Großtiere/Nutztiere*, 2023; 51(3): 175–183 (in German). <https://doi.org/10.1055/a-2107-7834>
22. Kalogianni A.I., Bossis I., Ekateriniadou L.V., Gelasakis A.I. Etiology, Epizootology and Control of Maedi-Visna in Dairy Sheep: A Review. *Animals*. 2020; 10(4): 616. <https://doi.org/10.3390/ani10040616>
23. Blacklaws B.A. *et al.* Transmission of small ruminant lentiviruses. *Veterinary Microbiology*. 2004; 101(3): 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2004.04.006>
24. Peterhans E. *et al.* Routes of transmission and consequences of small ruminant lentiviruses (SRLVs) infection and eradication schemes. *Veterinary Research*. 2004; 35(3): 257–274. <https://doi.org/10.1051/vetres:2004014>
25. Illius A.W., Savill N.J. Maternal transmission of Small Ruminant Lentivirus has no epidemiological importance. *Preventive Veterinary Medicine*. 2024; 230: 106297. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106297>
26. Blacklaws B.A. Small ruminant lentiviruses: Immunopathogenesis of visna-maedi and caprine arthritis and encephalitis virus. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2012; 35(3): 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2011.12.003>
27. Christodoulouopoulos G. Maedi-Visna: Clinical review and short reference on the disease status in Mediterranean countries. *Small Ruminant Research*. 2006; 62(1–2): 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.046>
28. Ramírez H., Reina R., Amorena B., Andrés D.D., Martínez H.A. Small Ruminant Lentiviruses: Genetic Variability, Tropism and Diagnosis. *Viruses*. 2013; 5(4): 1175–1207. <https://doi.org/10.3390/v5041175>
29. Patel J.R., Heldens J.G.M., Bakonyi T., Rusvai M. Important mammalian veterinary viral immunodiseases and their control. *Vaccine*. 2012; 30(10): 1767–1781. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2012.01.014>
30. Gezer T., Akyüz E., Gökçe G. Investigation of Seroprevalence of Maedi-Visna Infection in Some Sheep Flocks in Kars Province, Turkey. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2021; 14(1): 48–51. <https://doi.org/10.47027/duvetfd.881430>
31. Shah C. *et al.* Phylogenetic analysis and reclassification of caprine and ovine lentiviruses based on 104 new isolates: evidence for regular sheep-to-goat transmission and worldwide propagation through livestock trade. *Virology*. 2004; 319(1): 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2003.09.047>
32. Gjerset B., Storset A.K., Rimstad E. Genetic diversity of small-ruminant lentiviruses: characterization of Norwegian isolates of *Caprine arthritis encephalitis virus*. *Journal of General Virology*. 2006; 87(3): 573–580. <https://doi.org/10.1099/vir.0.81201-0>
33. Grego E., Lacerenza D., Reina Arias R., Profitti M., Rosati S. Serological characterization of the new genotype E of small ruminant lentivirus in roccaverano goat flocks. *Veterinary Research Communications*. 2009; 33(S1): 137–140. <https://doi.org/10.1007/s11259-009-9266-8>
34. Herrmann-Hoesing L.M., White S.N., Mousel M.R., Lewis G.S., Knowles D.P. Ovine progressive pneumonia provirus levels associate with breed and *Ovar-DRB1*. *Immunogenetics*. 2008; 60(12): 749–758. <https://doi.org/10.1007/s00251-008-0328-9>
35. Laruskain A. *et al.* MHC class II *DRB1* gene polymorphism in the pathogenesis of Maedi-Visna and pulmonary adenocarcinoma viral diseases in sheep. *Immunogenetics*. 2010; 62(2): 75–83. <https://doi.org/10.1007/s00251-009-0419-2>
36. Yaman Y. *et al.* A novel 2 bp deletion variant in Ovine-*DRB1* gene is associated with increased Visna/maedi susceptibility in Turkish sheep. *Scientific Reports*. 2021; 11: 14435. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93864-8>
37. White S.N., Mousel M.R., Reynolds J.O., Lewis G.S., Herrmann-Hoesing L.M. Common promoter deletion is associated with 3.9-fold differential transcription of ovine *CCR5* and reduced proviral level of ovine progressive pneumonia virus. *Animal Genetics*. 2009; 40(5): 583–589. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2009.01882.x>
38. Molae V., Eltanany M., Lühken G. First survey on association of *TMEM154* and *CCR5* variants with serological maedi-visna status of sheep in German flocks. *Veterinary Research*. 2018; 49: 36. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0533-y>
39. White S.N. *et al.* Genome-Wide Association Identifies Multiple Genomic Regions Associated with Susceptibility to and Control of Ovine Lentivirus. *PLOS One*. 2012; 7(10): e47829. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047829>
40. White S.N., Knowles D.P. Expanding Possibilities for Intervention against Small Ruminant Lentiviruses through Genetic Marker-Assisted Selective Breeding. *Viruses*. 2013; 5(6): 1466–1499. <https://doi.org/10.3390/v5061466>
41. Sarafidou T. *et al.* Toll Like Receptor 9 (*TLR9*) Polymorphism *G520R* in Sheep Is Associated with Seropositivity for Small Ruminant Lentivirus. *PLOS One*. 2013; 8(5): e63901. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063901>
42. White S.N. *et al.* Association analysis of variant near *ZNF389* with ewe cumulative production in three sheep breeds. *Animal Genetics*. 2014; 45(4): 613–614. <https://doi.org/10.1111/age.12161>
43. Riggio S. *et al.* A high-density genome-wide approach reveals novel genetic markers linked to small ruminant lentivirus susceptibility in sheep. *Frontiers in Genetics*. 2024; 15: 1376883. <https://doi.org/10.3389/fgene.2024.1376883>
44. Laruskain A., Bernalés I., Luján L., de Andrés D., Amorena B., Jugo B.M. Expression analysis of 13 ovine immune response candidate genes in Visna/Maedi disease progression. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2013; 36(4): 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2013.02.003>

45. Orkara S. *et al.* Epidemiological landscape and genetic prospects for marker-assisted selection in Kazakh sheep. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025; 12: 1647959. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1647959>
46. Sebastiani C. *et al.* Effetto della delezione del promotore del gene *CCR5* sulla resistenza all'infezione da lentivirus nei piccoli ruminanti (SRLV)-risultati preliminari. *XIX Congresso Nazionale Società Italiana di Diagnostica di Laboratorio Veterinaria*. Matera. 2019; 399–400.
47. Arcangeli C. *et al.* First Survey of SNPs in *TMEM154*, *TLR9*, *MYD88* and *CCR5* Genes in Sheep Reared in Italy and Their Association with Resistance to SRLVs Infection. *Viruses*. 2021; 13(7): 1290. <https://doi.org/10.3390/v13071290>
48. Yaman Y. Evaluation of Two SNP Markers in *DPPA2* and *SYTL3* Genes for Association with Host Response against Visna/Maedi Infection in Turkish Sheep. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 2020; 60(2): 68–73. <https://doi.org/10.46897/livestockstudies.846425>
49. Massa A.T. *et al.* A DNA Regulatory Element Haplotype at Zinc Finger Genes Is Associated with Host Resilience to Small Ruminant Lentivirus in Two Sheep Populations. *Animals*. 2021; 11(7): 1907. <https://doi.org/10.3390/ani11071907>
50. Sayed A.E., Hafez A., Ateya A., Darwish A., Tahoun A. Single nucleotide polymorphisms, gene expression and evaluation of immunological, antioxidant, and pathological parameters associated with bacterial pneumonia in Barki sheep. *Irish Veterinary Journal*. 2025; 78: 11. <https://doi.org/10.1186/s13620-025-00296-1>
51. Liu X. *et al.* Ovine Toll-like Receptor 9 (*TLR9*) Gene Variation and Its Association with Flystrike Susceptibility. *Animals*. 2021; 11(12): 3549. <https://doi.org/10.3390/ani11123549>
52. Tumino S. *et al.* Alternative Molecular Tools for the Fight against Infectious Diseases of Small Ruminants: Native Sicilian Sheep Breeds and Maedi-Visna Genetic Susceptibility. *Animals*. 2022; 12(13): 1630. <https://doi.org/10.3390/ani12131630>
53. Thorne J.W. *et al.* Evolution of the sheep industry and genetic research in the United States: opportunities for convergence in the twenty-first century. *Animal Genetics*. 2021; 52(4): 395–408. <https://doi.org/10.1111/age.13067>
54. Rodrigues C.S. *et al.* Lentivirus Susceptibility in Brazilian and US Sheep with *TMEM154* Mutations. *Genes*. 2023; 14(1): 70. <https://doi.org/10.3390/genes14010070>
55. Freking B.A., Murphy T.W., Chitko-McKown C.G., Workman A.M., Heaton M.P. Impact of Four Ovine *TMEM154* Haplotypes on Ewes during Multiyear Lentivirus Exposure. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(23): 14966. <https://doi.org/10.3390/ijms232314966>
56. Letko A., Bützberger C., Hirter N., Paris J.M., Abril C., Drögemüller C. Genetic evaluation of small ruminant lentivirus susceptibility in Valais blacknose sheep. *Animal Genetics*. 2021; 52(5): 781–782. <https://doi.org/10.1111/age.13108>
57. Riggio S., Di Gerlando R., Mastrangelo S., Rizzuto I., Tolone M., Sardina M.T. Maedi Visna virus infection and *TMEM154* genotypes in Valle del Belice sheep breed. *Italian Journal of Animal Science*. 2023; 22(1): 754–759. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2243095>
58. Frölich C., Ganter M., Adeniyi O.O., Lühken G. Genetic diversity in German Pomeranian Coarsewool sheep and the possibility of breeding for maedi-visna resistance. *Archives Animal Breeding*. 2025; 68(3): 517–530. <https://doi.org/10.5194/aab-68-517-2025>
59. Ramírez H. *et al.* Accurate Diagnosis of Small Ruminant Lentivirus Infection Is Needed for Selection of Resistant Sheep through *TMEM154* E35K Genotyping. *Pathogens*. 2021; 10(1): 83. <https://doi.org/10.3390/pathogens10010083>
60. Cancedda M.G. *et al.* The role of CD163-positive macrophages in the pathogenesis of atypical proliferative lesions caused by ORF virus in sheep. *Animal - science proceedings*. 2023; 14(1): 231. <https://doi.org/10.1016/j.ansci.2023.01.310>
61. Jones S. *et al.* Clearance of Maedi-visna infection in a longitudinal study of naturally infected rams is associated with homozygosity for the *TMEM154* resistance allele. *Journal of Medical Microbiology*. 2022; 71(2): 001506. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001506>
62. Heaton M.P. *et al.* Reduced Lentivirus Susceptibility in Sheep with *TMEM154* Mutations. *PLOS Genetics*. 2012; 8(1): e1002467. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002467>
63. Yaman Y. *et al.* Association of *TMEM154* variants with visna/maedi virus infection in Turkish sheep. *Small Ruminant Research*. 2019; 177: 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.06.006>
64. Dickey A.M., Smith T.P.L., Clawson M.L., Heaton M.P., Workman A.M. Classification of small ruminant lentivirus subtype A2, subgroups 1 and 2 based on whole genome comparisons and complex recombination patterns. *F1000Research*. 2021; 9: 1449. <https://doi.org/10.12688/f1000research.27898.2>
65. Materniak-Kornas M. *et al.* First Report of SNPs Detection in *TMEM154* Gene in Sheep from Poland and Their Association with SRLV Infection Status. *Pathogens*. 2025; 14(1): 16. <https://doi.org/10.3390/pathogens14010016>
66. Belliveau N. *et al.* Galvanin (*TMEM154*) is an electric-field sensor for directed cell migration. *Cell*. 2026; 189(13): 4107–4121.e22. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.04.026>
67. Денискова Т.Е., Соловьева А.Д., Кошкина О.А., Яковлева О.С., Доцев А.В., Зиновьева Н.А. Разработка и апробация тест-системы для определения устойчивых гаплотипов к вирусу Висна-маеди у овец. *Животноводство и кормопроизводство*. 2025; 108(4): 151–161. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-151>
68. Yurchenko A.A. *et al.* High-density genotyping reveals signatures of selection related to acclimation and economically important traits in 15 local sheep breeds from Russia. *BMC Genomics*. 2019; 20(S3): 294. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5537-0>
69. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*. 2012; 28(19): 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
45. Orkara S. *et al.* Epidemiological landscape and genetic prospects for marker-assisted selection in Kazakh sheep. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025; 12: 1647959. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1647959>
46. Sebastiani C. *et al.* Effect of deletion of the *CCR5* gene promoter on resistance to Lentivirus infection in small ruminants (SRLV)—preliminary results. *XIX National Congress Italian Society of Veterinary Laboratory Diagnostics. Proceedings*. 2019; 399–400 (in Italian).
47. Arcangeli C. *et al.* First Survey of SNPs in *TMEM154*, *TLR9*, *MYD88* and *CCR5* Genes in Sheep Reared in Italy and Their Association with Resistance to SRLVs Infection. *Viruses*. 2021; 13(7): 1290. <https://doi.org/10.3390/v13071290>
48. Yaman Y. Evaluation of Two SNP Markers in *DPPA2* and *SYTL3* Genes for Association with Host Response against Visna/Maedi Infection in Turkish Sheep. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 2020; 60(2): 68–73. <https://doi.org/10.46897/livestockstudies.846425>
49. Massa A.T. *et al.* A DNA Regulatory Element Haplotype at Zinc Finger Genes Is Associated with Host Resilience to Small Ruminant Lentivirus in Two Sheep Populations. *Animals*. 2021; 11(7): 1907. <https://doi.org/10.3390/ani11071907>
50. Sayed A.E., Hafez A., Ateya A., Darwish A., Tahoun A. Single nucleotide polymorphisms, gene expression and evaluation of immunological, antioxidant, and pathological parameters associated with bacterial pneumonia in Barki sheep. *Irish Veterinary Journal*. 2025; 78: 11. <https://doi.org/10.1186/s13620-025-00296-1>
51. Liu X. *et al.* Ovine Toll-like Receptor 9 (*TLR9*) Gene Variation and Its Association with Flystrike Susceptibility. *Animals*. 2021; 11(12): 3549. <https://doi.org/10.3390/ani11123549>
52. Tumino S. *et al.* Alternative Molecular Tools for the Fight against Infectious Diseases of Small Ruminants: Native Sicilian Sheep Breeds and Maedi-Visna Genetic Susceptibility. *Animals*. 2022; 12(13): 1630. <https://doi.org/10.3390/ani12131630>
53. Thorne J.W. *et al.* Evolution of the sheep industry and genetic research in the United States: opportunities for convergence in the twenty-first century. *Animal Genetics*. 2021; 52(4): 395–408. <https://doi.org/10.1111/age.13067>
54. Rodrigues C.S. *et al.* Lentivirus Susceptibility in Brazilian and US Sheep with *TMEM154* Mutations. *Genes*. 2023; 14(1): 70. <https://doi.org/10.3390/genes14010070>
55. Freking B.A., Murphy T.W., Chitko-McKown C.G., Workman A.M., Heaton M.P. Impact of Four Ovine *TMEM154* Haplotypes on Ewes during Multiyear Lentivirus Exposure. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(23): 14966. <https://doi.org/10.3390/ijms232314966>
56. Letko A., Bützberger C., Hirter N., Paris J.M., Abril C., Drögemüller C. Genetic evaluation of small ruminant lentivirus susceptibility in Valais blacknose sheep. *Animal Genetics*. 2021; 52(5): 781–782. <https://doi.org/10.1111/age.13108>
57. Riggio S., Di Gerlando R., Mastrangelo S., Rizzuto I., Tolone M., Sardina M.T. Maedi Visna virus infection and *TMEM154* genotypes in Valle del Belice sheep breed. *Italian Journal of Animal Science*. 2023; 22(1): 754–759. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2243095>
58. Frölich C., Ganter M., Adeniyi O.O., Lühken G. Genetic diversity in German Pomeranian Coarsewool sheep and the possibility of breeding for maedi-visna resistance. *Archives Animal Breeding*. 2025; 68(3): 517–530. <https://doi.org/10.5194/aab-68-517-2025>
59. Ramírez H. *et al.* Accurate Diagnosis of Small Ruminant Lentivirus Infection Is Needed for Selection of Resistant Sheep through *TMEM154* E35K Genotyping. *Pathogens*. 2021; 10(1): 83. <https://doi.org/10.3390/pathogens10010083>
60. Cancedda M.G. *et al.* The role of CD163-positive macrophages in the pathogenesis of atypical proliferative lesions caused by ORF virus in sheep. *Animal - science proceedings*. 2023; 14(1): 231. <https://doi.org/10.1016/j.ansci.2023.01.310>
61. Jones S. *et al.* Clearance of Maedi-visna infection in a longitudinal study of naturally infected rams is associated with homozygosity for the *TMEM154* resistance allele. *Journal of Medical Microbiology*. 2022; 71(2): 001506. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001506>
62. Heaton M.P. *et al.* Reduced Lentivirus Susceptibility in Sheep with *TMEM154* Mutations. *PLOS Genetics*. 2012; 8(1): e1002467. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002467>
63. Yaman Y. *et al.* Association of *TMEM154* variants with visna/maedi virus infection in Turkish sheep. *Small Ruminant Research*. 2019; 177: 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.06.006>
64. Dickey A.M., Smith T.P.L., Clawson M.L., Heaton M.P., Workman A.M. Classification of small ruminant lentivirus subtype A2, subgroups 1 and 2 based on whole genome comparisons and complex recombination patterns. *F1000Research*. 2021; 9: 1449. <https://doi.org/10.12688/f1000research.27898.2>
65. Materniak-Kornas M. *et al.* First Report of SNPs Detection in *TMEM154* Gene in Sheep from Poland and Their Association with SRLV Infection Status. *Pathogens*. 2025; 14(1): 16. <https://doi.org/10.3390/pathogens14010016>
66. Belliveau N. *et al.* Galvanin (*TMEM154*) is an electric-field sensor for directed cell migration. *Cell*. 2026; 189(13): 4107–4121.e22. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.04.026>
67. Deniskova T.E., Solovieva A.D., Koshkina O.A., Yakovleva O.S., Dotsev A.V., Zinovieva N.A. Development and validation of a test system for identifying resistant haplotypes to Maedi-Visna virus in sheep. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025; 108(4): 151–161 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-151>
68. Yurchenko A.A. *et al.* High-density genotyping reveals signatures of selection related to acclimation and economically important traits in 15 local sheep breeds from Russia. *BMC Genomics*. 2019; 20(S3): 294. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5537-0>
69. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*. 2012; 28(19): 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>

ОБ АВТОРАХ

Яковлева Ольга Сергеевна

аспирант
olya111011@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-1928-6569>

Татьяна Евгеньевна Денискова

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
horarka@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

Ольга Андреевна Кошкина

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
olechka1808@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Арсен Владимирович Доцев

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
arsendotsev@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3418-2511>

Анастасия Дмитриевна Соловьева

ведущий специалист
anastasiya93@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

Наталья Анатольевна Зиновьева

доктор биологических наук, профессор, академик
Российской академии наук
n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, дом 60, г.о. Подольск, Московская обл.,
142132, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Sergeevna Yakovleva

postgraduate student
olya111011@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-1928-6569>

Tatiana Evgenievna Deniskova

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
horarka@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

Olga Andreevna Koshkina

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
olechka1808@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Arsen Vladimirovich Dotsev

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
arsendotsev@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3418-2511>

Anastasiya Dmitrievna Solovieva

leading specialist
anastasiya93@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

Natalia Anatolievna Zinovieva

Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the
Russian Academy of Sciences
n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,
60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region,
142132, 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 (K1, K2), 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 ЦНСХБ Россельхозакадемии).

Ознакомьтесь 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 K1.

Подобную информацию о журнале можно получить у научного редактора М.Н. Долгой
+7 (495) 777 67 67 (доб. 1453)
dolgaya@vicgroup.ru

УДК 636.52/. 58 : 636.087.7 : 612.3

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-95-104

А.Ю. Загарин¹ ✉М.И. Селионова¹Н.П. Беляева¹Ю.А. Лысенко¹Е.И. Куликов²А.В. Жевнеров¹

¹Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Сергиев Посад, Россия

✉ azagarin@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию: 25.02.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Загарин А.Ю., Селионова М.И., Беляева Н.П., Лысенко Ю.А., Куликов Е.И., Жевнеров А.В.

Здоровье кишечника цыплят-бройлеров при использовании в кормлении фитогенной композиции

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Сокращение использования кормовых антибиотиков в птицеводстве требует разработки и изучения альтернативных кормовых добавок, положительно влияющих на здоровье кишечника. К числу таких добавок относят фитобиотики, проявляющие противовоспалительные, антиоксидантные, антибактериальные и иммуномодулирующие свойства. С целью выявления влияния разных вариантов фитогенной композиции на здоровье кишечника был проведен опыт на цыплятах-бройлерах.

Методы. Было сформировано три группы, двум из которых в составе рациона скармливали два варианта фитогенной композиции с разным соотношением экстрактов цикория (40/35%), зверобоя (10/5%), левзеи сафлоровидной (35/40%) и тимьяна ползучего (15/20%). Об их влиянии на состояние здоровья кишечника судили по морфологическим характеристикам тканей слепой кишки, относительной экспрессии в них генов, связанных с резистентностью, по уровню условно-патогенной микрофлоры.

Результаты. Результаты исследования свидетельствовали о снижении экспрессии генов, связанных с воспалительным процессом и сопротивлением патогенам, в тканях кишечника цыплят опытных групп: активность *AvBD9* сократилась в 7,0 раз ($p \leq 0,05$), *AvBD10* — в 12,7...140,0 раз ($p \leq 0,01$), *IL8L2* — в 154,0 раза ($p \leq 0,01$), *IRF7* — в 47,0 раз ($p \leq 0,05$). Результаты гистологических исследований указывали на сокращение в опытных группах высоты эпителия на 24,7...49,1% ($p \leq 0,001$) и толщины подслизистой основы в 2,8–2,9 раза ($p \leq 0,001$), повышение глубины крипт на 80,5% ($p \leq 0,001$), толщины мышечной пластинки на 6,5% ($p \leq 0,05$), толщины мышечной оболочки — на 14,8% ($p \leq 0,001$), а также на отсутствие признаков дегенерации и угнетения эпителиальных клеток в опыте в отличие от контроля. Численность *Escherichia coli*, для которой были характерны такие факторы вирулентности, как *ybtA*, *iroE*, *fliA*, *epaQ*, *ycbV*, *ykgK/espR*, *fliP*, *espL4*, *cheB*, *stgC* и другие, в микробиоме цыплят контроля составила 11,98%, в то время как во 2-й опытной группе — 3,74%, в 3-й группе — 0,71% ($p \leq 0,05$). Это позволяет рассматривать разработанные варианты фитогенной композиции в качестве кормовых биопрепаратов, направленных на улучшение здоровья кишечника цыплят-бройлеров.

Ключевые слова: экспрессия генов, гистология, микрофлора, фитобиотик, фитоген, нутригеномика животных, цыплята-бройлеры, здоровье кишечника

Для цитирования: Загарин А.Ю., Селионова М.И., Беляева Н.П., Лысенко Ю.А., Куликов Е.И., Жевнеров А.В. Здоровье кишечника цыплят-бройлеров при использовании в кормлении фитогенной композиции. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 95–104. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-95-104>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-95-104

Artem Yu. Zagarin¹ ✉Marina I. Selionova¹Nina P. Belyaeva¹Yury A. Lysenko¹Egor I. Kulikov²Alexey V. Zhevnerov¹

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²All-Russian Research and Technological Poultry Institute, Sergiev Posad, Russia

✉ azagarin@rgau-msha.ru

Received by the editorial office: 25.02.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Zagarin A.Yu., Selionova M.I., Belyaeva N.P., Lysenko Yu.A., Kulikov E.I., Zhevnerov A.V.

The health of broiler chickens' intestines when using a phytogetic composition in their diet

ABSTRACT

Relevance. The reduction in the use of feed antibiotics in poultry farming necessitates the development and study of alternative feed additives that positively affect gut health. Such additives include phytobiotics, which exhibit anti-inflammatory, antioxidant, antibacterial, and immunomodulatory properties. To identify the effect of different variants of a phytobiotic composition on gut health, an experiment was conducted on broiler chickens.

Methods. Three groups were formed, two of which were fed two variants of the phytobiotic composition with different ratios of chicory extract (40/35%), St. John's wort (10/5%), safflower leuzea (35/40%), and creeping thyme (15/20%) in their diets. The impact on gut health was assessed through morphological characteristics of the cecum tissues, relative expression of genes related to resistance, and levels of opportunistic pathogenic microbiota.

Results. The results indicated a decrease in the expression of genes associated with inflammation and pathogen resistance in the gut tissues of the experimental groups: *AvBD9* activity decreased 7.0-fold ($p \leq 0.05$), *AvBD10* by 12.7 to 140.0-fold ($p \leq 0.01$), *IL8L2* by 154.0-fold ($p \leq 0.01$), and *IRF7* by 47.0-fold ($p \leq 0.05$). Histological studies showed reductions in epithelial height by 24.7 to 49.1% ($p \leq 0.001$) and submucosal thickness by 2.8–2.9 times ($p \leq 0.001$), an increase in crypt depth by 80.5% ($p \leq 0.001$), muscularis mucosa thickness by 6.5% ($p \leq 0.05$), and muscular layer thickness by 14.8% ($p \leq 0.001$). No signs of degradation or suppression of epithelial cells were observed in the treated groups compared to control. *Escherichia coli* strains harboring virulence factors such as *ybtA*, *iroE*, *fliA*, *epaQ*, *ycbV*, *ykgK/espR*, *fliP*, *espL4*, *cheB*, *stgC*, among others, accounted for 11.98% of the cecal microbiome in the control group, whereas their abundance decreased to 3.74% in the 2nd experimental group and to 0.71% in the 3rd experimental group ($p \leq 0.05$). These findings allow considering the developed phytogetic compositions as feed biopreparations aimed at improving gut health in broiler chickens.

Key words: gene expression, histology, microbiota, phytobiotic, phytogetic, animal nutrigenomics, broiler chickens, intestinal health

For citation: Zagarin A.Yu., Selionova M.I., Belyaeva N.P., Lysenko Yu.A., Kulikov E.I., Zhevnerov A.V. The health of broiler chickens' intestines when using a phytogetic composition in their diet. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 95–104 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-95-104>

Введение/Introduction

Птицеводство является наиболее динамично развивающейся отраслью животноводства, о чем свидетельствует преобладание мяса птицы в общей структуре производства мяса [1]. Интенсивный характер отрасли обязывает производителей на протяжении всего периода выращивания цыплят-бройлеров контролировать влияние внешних факторов, способных отразиться на эффективности производства продукции и состоянии здоровья птицы. Особое внимание при этом следует обращать на состояние кишечника бройлеров [2].

Понятие «здоровье кишечника» включает не только нормальную работу желудочно-кишечного тракта, но и поддержание здоровой микробиоты, которая противодействует росту патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, не давая им закрепиться на слизистых оболочках кишечника, а также способствует своевременной выработке антител против инфекционных агентов. Около 25% слизистой оболочки кишечника состоит из иммунологически активной ткани, на которой локализованы около 80% иммунокомпетентных клеток, что подчеркивает его роль в качестве иммунного органа [3].

Нарушение здоровья кишечника негативно отражается на состоянии иммунной системы, пищеварении и усвоении нутриентов корма, конверсии корма, что в целом отражается на ветеринарном благополучии птицы и экономической эффективности производства. Изменения в законодательстве многих стран и четко обозначенный тренд на производство мяса птицы без использования кормовых антибиотиков требуют всестороннего изучения здоровья кишечника птицы и разработки новых инструментов влияния на него [4].

Перспективным решением в этом плане являются фитобиотики — варибельный класс биологически активных соединений растительного происхождения, положительно влияющих на уровень продуктивности и состояние здоровья животных. Высокий интерес к фитобиотикам вызван возникновением антибиотикорезистентности патогенных микроорганизмов, являющимся следствием нерационального использования антибиотиков. Таким образом, фитобиотики выступают в качестве альтернативы антимикробным препаратам. Фитобиотические добавки оказывают разнообразное влияние на здоровье кишечника сельскохозяйственной птицы, проявляя противовоспалительные, антиоксидантные, антибактериальные и иммуномодулирующие свойства, а также положительное влияние на физиологические процессы пищеварения. В совокупности это подчеркивает

высокий потенциал эффективности фитобиотиков в сравнении с другими кормовыми добавками [5].

Одно из важнейших свойств фитобиотиков в отношении кишечника — противовоспалительное, достигается за счет активации ряда важных механизмов. К ним относится нейтрализация свободных радикалов и снижение окислительного стресса в эпителиальных клетках [6], контроль активности лимфоидной ткани и активация врожденных иммунных механизмов путем передачи сигналов через Toll-подобные рецепторы и модуляции синтеза цитокинов, таких как интерлейкины и интерфероны [7], стимуляция выработки муцина и активация экспрессии генов белков плотного соединения окклюдина и клаудина-1, улучшающих барьерную функцию [8]. Кроме того, противовоспалительное действие фитобиотиков обеспечивается морфологической перестройкой [9] и, наконец, снижением численности условно-патогенной микробиоты, такой как *Clostridium perfringens* и *Escherichia coli*, путем разрушения мембран бактериальных клеток, изменения их проницаемости и подавления механизма кворумной сенситивности [5].

Кишечник цыплят-бройлеров состоит из двенадцатиперстной, тощей, подвздошной, слепых и прямой кишок [4], при этом наиболее информативным отделом является слепой кишечник (в форме двух отростков), поскольку его микробиом представлен наибольшим разнообразием и численностью микроорганизмов — 10^{10} - 10^{11} на 1 г содержимого, большая доля которых приходится на целлюлозолитическую микробиоту, важную в отношении рационов кормления птицы, представленных по большей части зерновыми кормами с высоким содержанием клетчатки¹ [10].

В ранних исследованиях [11] было выявлено положительное влияние скармливания отдельных растительных экстрактов цикория обыкновенного (*Cichorium intubus* L.), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides* L.) и тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.) на состояние слепой кишки цыплят-бройлеров для последующего изучения комплексного использования перечисленных экстрактов в кормлении птицы.

Вышеизложенное определило цель настоящего исследования — выявление влияния разных вариантов фитогенной композиции на здоровье кишечника по морфологическим характеристикам тканей слепой кишки, экспрессии в них генов, связанных с резистентностью, уровню условно-патогенной микробиоты.

¹ Кочиш И.И. и др. Методические рекомендации по использованию современных биотехнологий для оценки экспрессии генов, связанных с продуктивностью и устойчивостью птицы к неблагоприятным факторам. М.: Сельскохозяйственные технологии. 2019. — 112 с. ISBN: 978-5-6043642-7-7. EDN: ZYNIDT

Материал и методы исследования / Material and methods

Для достижения поставленной цели был выполнен зоотехнический эксперимент в соответствии с методикой проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы ВНИТИП², рекомендациями Коллегии Евразийской экономической комиссии «О Руководстве по работе с лабораторными (экспериментальными) животными при проведении доклинических (неклинических) исследований»³ и протоколом №43 от 26 апреля 2025 г. Комиссии по биоэтике ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева» в условиях внутриуниверситетского Центра доклинических и клинических исследований на цыплятах-бройлерах кросса «Смена 9» продолжительностью 35 суток в период с июня по июль 2025 года.

Средняя масса цыплят перед посадкой составила $41,7 \pm 0,39$ г.

Методом сбалансированных групп-аналогов 129 особей были распределены на 3 группы по 43 головы с учетом живой массы и общего разведения.

В 1-й контрольной группе цыплят кормили полнорационными фазовыми комбикормами «Старт» (0–10 суток), «Рост» (11–22 суток) и «Финиш» (23–35 суток), произведенными на базе ООО «Маркорм» и соответствующими рекомендациям кормления кросса⁴ по химическому составу и энергетической питательности (табл. 1).

В состав комбикормов 2-й и 3-й опытных групп дополнительно поверх гранулы вводили два варианта фитогенной композиции с разным

соотношением сухих мелкодисперсных растительных экстрактов цикория обыкновенного, зверобоя продырявленного, левзеи сафлоровидной и тимьяна ползучего. Во 2-й опытной группе их соотношение составило 0,40 : 0,10 : 0,35 : 0,15, в 3-й опытной группе — 0,35 : 0,05 : 0,40 : 0,20 соответственно. Уровень ввода фитогенной композиции в состав комбикормов составил 300 г/т на протяжении всего изучаемого периода онтогенеза цыплят. При введении фитогенной композиции в корм использовали метод ступенчатого смешивания.

Описанная схема опыта представлена в таблице 2.

Условия содержания птицы во всех группах были идентичными. Система содержания — клеточная. Во время опыта контролировали температурно-влажностный режим, режим освещенности, плотность посадки на соответствие нормативам кросса.

Режим кормления и поения — вволю.

Для анализа относительной экспрессии генов, связанных с резистентностью, и численности условно-патогенных *Clostridium perfringens* и *Escherichia coli* в микробиоме отбирали по 4 особи со средней живой массой, отклонение от среднего — не более 3%, в возрасте 21 суток — при окончании кормления птицы ростовым комбикормом и перед сменой рациона на финишный, когда микробное сообщество пришло в стабильное состояние.

После эвтаназии отобранных особей проводили вскрытие брюшной полости с соблюдением условий стерильности с предварительной обработкой хирургических инструментов и рабочих поверхностей средством от РНКаз и отбирали

Таблица 1. Питательность и химический состав используемых комбикормов

Table 1. Nutritional value and chemical composition of the feed used

Показатель	«Старт» (0–10 суток)	«Рост» (11–22 суток)	«Финиш» (23–35 суток)
Обменная энергия, ккал/100 г	300,00	310,00	315,00
Сырой протеин, %	22,80	20,80	19,50
Сырой жир, %	4,00	3,78	3,85
Сырая клетчатка, %	3,55	3,98	3,65
Лизин, %	1,33	1,17	1,10
Метионин, %	0,62	0,58	0,58
Метионин+цистин, %	0,97	0,91	0,89
Треонин, %	0,89	0,81	0,80
Кальций, %	1,05	0,95	0,93
Фосфор, %	0,77	0,67	0,71
Натрий, %	0,21	0,17	0,16
Хлор, %	0,21	0,19	0,19

Таблица 2. Схема опыта

Table 2. The scheme of experience

Показатель	Группа		
	1 контроль	2 опыт	3 опыт
Уровень ввода фитогенной композиции в качестве кормовой добавки в рацион, г/т	0	300	300
Поголовье, гол.	43	43	43
Доля в комбинации экстракта, %	цикория обыкновенного	–	40
	зверобоя продырявленного	–	10
	левзеи сафлоровидной	–	35
	тимьяна ползучего	–	15
Внешний вид фитогенной композиции	–		

² Егоров И.А. и др. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника. Сергиев Посад: Весь Сергиев Посад. 2013. — 51 с. ISBN: 978-5-91582-047-9. EDN: SDOKYP

³ Рекомендации Коллегии Евразийской экономической комиссии от 14 ноября 2023 г. № 33 «О Руководстве по работе с лабораторными (экспериментальными) животными при проведении доклинических (неклинических) исследований».

⁴ Ефимов Д.Н. и др. 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). Сергиев Посад: ФНЦ «ВНИТИП» Российской академии наук. 2021. 95 с. ISBN: 978-5-6043379-7-4. EDN: AJBTFTN

фрагменты слепой кишки (на расстоянии 2 см от краниальных участков). Образцы консервировали в фиксаторе IntactRNA («Евроген», Россия) и хранили до момента проведения лабораторных анализов при -20 °С. Содержимое слепой кишки с соблюдением условий стерильности немедленно помещали в стерильные пластиковые пробирки типа Эппендорф и транспортировали в лабораторию для выделения ДНК.

Молекулярно-генетические исследования выполняли на базе учебно-научного центра коллективного пользования — «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия). Этапы анализа включали: гомогенизацию тканей с помощью прибора TissueLyser II (Qiagen, Venlo, Netherlands), лизис клеток и выделение РНК с помощью набора RNA Solo («Евроген», Россия), получение кДНК с использованием обратной транскриптазы в составе набора Magnus («Евроген», Россия) на термоциклере C1000 Touch (Bio-Rad, Berkeley, США), количественный анализ полученных нуклеиновых кислот — на приборе Fluo-200 (Allsheng, Китай) с использованием набора QuDu ssDNA (Thermo Fisher Scientific, Waltham, США) и постановку ПЦР-РВ — на приборе CFX96 Touch (Bio-Rad, Berkeley, США) с помощью набора 5X qPCRMix-HS SYBR («Евроген», Россия). Режим амплификации был следующим: 3 минуты при 95 °С (предварительный денатурация); 30 секунд при 95 °С (денатурация), 30 секунд при 60 °С (отжиг праймеров), 30 секунд при 72 °С (элонгация) на протяжении 40 циклов.

Оценку относительной экспрессии генов проводили методом Ливака и Шмиттгена (2^{-ΔΔCT}) [12] с использованием в качестве референсного ген «домашнего хозяйства», кодирующий белок β-актин *ACTB*.

Праймеры, используемые для амплификации референсного и целевых генов, были взяты из научных источников, достоверность нуклеотидной последовательности подтверждали с помощью геномного браузера Ensembl (табл. 3).

Микробную ДНК выделяли из образцов с использованием набора HiPure Microbiome DNA Kit (Magen Biotechnology Co., Ltd, Китай) согласно прилагаемой инструкции.

Общее микробное сообщество содержимого слепой кишки цыплят-бройлеров определяли методом дробовика (Shotgun sequencing) на базе лаборатории прикладной генетики и молекулярной диагностики ФГБНУ ФНЦ ВНИТИП (Сергиев Посад, Россия). Для подготовки библиотек использовали набор с Taq-FS ДНК-полимеразой MGIEasy FS DNA Library Prep Set (MGI, Китай). Готовые библиотеки циркуляризировали при помощи набора реагентов MGIEasy Circularization Module (MGI, Китай) и с применением реагентов и проточной ячейки FCS для запуска секвенатора High-throughput Sequencing Set (PE150, 165 Гб) (MGI, Китай) готовили картриджи и загружали готовые DNB ручным методом. Парноконцевое NGS-секвенирование проводили на автоматическом секвенаторе DNBSEQ-G400 (MGI, Китай), длина прочтения в 150 нуклеотидов.

Автоматическую биоинформатическую обработку данных секвенирования в формате FASTQ осуществляли с использованием программного обеспечения PFI report software v5.1.2 (database v5.1.1, MGI Tech Co., Ltd. Китай). На этапе первичной обработки выполняли контроль качества сырых данных, включавший удаление последовательностей адаптеров, фильтрацию низкокачественных и коротких прочтений с использованием встроенного инструмента SOAPnuke. Таксономическую классификацию микроорганизмов проводили с использованием алгоритма Kraken, интегрированного в программный комплекс PFI report software, с применением встроенной референсной базы данных программного обеспечения. Для поиска генов вирулентности использовали встроенные средства программного комплекса, основанные на сравнении последовательностей с референсными базами данных.

По результатам анализа определяли таксономический состав микробного сообщества и относительную численность микроорганизмов.

Поскольку была сформулирована гипотеза о проявлении антимикробных свойств разработанных фитогенных добавок, а эксперимент не предусматривал искусственно созданных факторов для роста численности патогенных микроорганизмов, в ходе анализа определяли относительную численность всех идентифицированных видов, но отдельно регистрировали и описывали в настоящей работе численность и вирулентность для *Clostridium perfringens* и *Escherichia coli*, как ключевых представителей условно-патогенной микробиоты, ассоциированных с воспалительными процессами в кишечнике птицы.

Таблица 3. Нуклеотидная последовательность праймеров
Table 3. Nucleotide sequence of primers

Ген	Праймеры	Авторы
Ген «домашнего хозяйства»		
<i>ACTB</i> (β-актин)	F: CTGTGCCCATCTATGAAGGCTA R: ATTTCTCTCTCGGCTGTGGTG	Лаптев Г.Ю. и др., 2023 [13]
Гены резистентности		
<i>IL6</i> (интерлейкин 6)	F: AGGACGAGATGTGCAAGAAGTTC R: TTGGGCAGGTTGAGGTTGTT	Тюрина Д.Г. и др., 2022 [14]
<i>IL8L2</i> (8-подобный 2 интерлейкин)	F: GGAAGAGAGGTGTGCTTGA R: TAACATGAGGCACCGATGTG	Лаптев Г.Ю. и др., 2023 [13]
<i>AvBD9</i> (β-дефензин 9)	F: AACACCGTCAGGCATCTTCACA R: CGTCTCTTGGCTGTAAGCTGGA	
<i>AvBD10</i> (β-дефензин 10)	F: GCTCTTCGCTGTTCTCCTCT R: CCAGAGATGGTGAAGGTG	Йылдырым Е.А. и др., 2023 [15]
<i>IRF7</i> (регуляторный фактор интерферона 7)	F: ATCCCTTGGGAAGCACAACGCC R: CTGAGGCAACCGCTAGACCTT	

Результаты молекулярно-генетического исследования соотносили с гистологическими характеристиками тканей слепого кишечника. Для этого при достижении цыплятами возраста 26 суток было отобрано по 3 головы (петушка) из каждой группы со средней живой массой для группы (отклонение не более 3%). При эвтаназии и вскрытии отобранных особей проводили морфологическую оценку кишечника посредством взвешивания, взятия промеров, осмотра на наличие патологий. Не позднее чем через 15 минут после убоя отбирали фрагменты слепого кишечника размером 1 см³, фиксировали их в 10%-ном растворе формальдегида в течение 2 минут после отбора.

Гистологические исследования проводили в условиях учебно-научной лаборатории кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Гистологические препараты изготавливали в трехкратной повторности общепринятыми методами путем обезвоживания и замещения формальдегида на парафин и проводки через этиловый спирт с дальнейшим окрашиванием гематоксилин-эозином. Микрокопирование и морфометрическую оценку полученных образцов проводили с применением микроскопа Микмед-5 (АО «Ломо», С.-Петербург, Россия) под увеличением от 32х до 1500х. Откалиброванной с помощью окулярмикрометра окулярной линейкой были произведены по 30 измерений соответствующих параметров каждого образца.

Статистическую обработку цифрового материала осуществляли с помощью программного комплекса IBM SPSS Statistics 23 (США). Нормальность данных анализировали с применением теста Шапиро-Уилка. Для сравнения экспрессии генов в экспериментальных группах и контрольной использовался t-критерий Стьюдента в отношении значений ΔCt . С использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с помощью теста Тьюки анализировали достоверность разности значений морфометрических показателей и численности микроорганизмов. Разность во всех случаях считали значимой при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ таксономического состава микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров выявил, что численность *Clostridium perfringens* во всех группах была на крайне низком уровне и не различалась между группами — средние значения во всех группах составили 0,02%, однако в отношении *Escherichia coli* были установлены значимые изменения (рис. 1).

В контрольной группе доля представленности этого микроорганизма составила 11,98%, в то время как во 2-й опытной группе — 3,74%, разность была не достоверна, но близка к минимальному уровню значимости, в 3-й группе — 0,71% ($p \leq 0,05$).

Рис. 1. Численность *Escherichia coli* в общей структуре микробиома цыплят-бройлеров, % (* — разность статистически достоверна по отношению к контрольной группе при $p \leq 0,05$; результаты представлены как среднее со стандартной ошибкой среднего)

Fig. 1. The abundance of *Escherichia coli* in the overall microbiome structure of broiler chickens, % (* indicates a statistically significant difference compared to the control group at $p \leq 0.05$; results are presented as mean $\pm$ standard error of the mean)

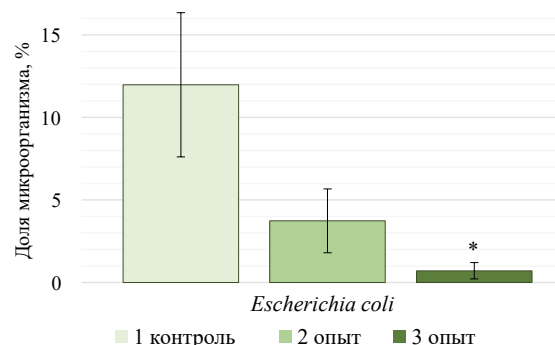
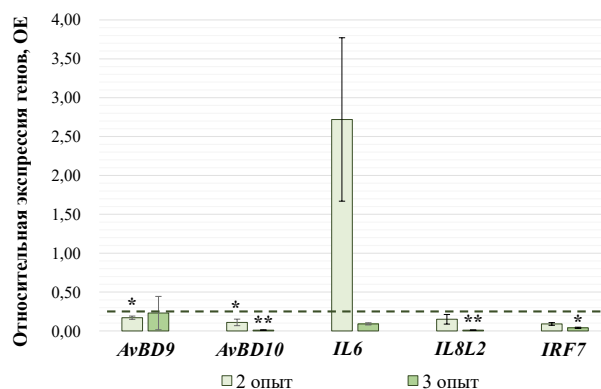


Рис. 2. Уровень экспрессии генов, связанных с иммунитетом, в тканях слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров при использовании в кормлении фитогенных композиций, OE (прерывистая горизонтальная линия означает уровень экспрессии генов в контроле; *, ** — разность в значениях ΔCt статистически достоверна по отношению к контрольной группе при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ согласно t-критерию; результаты представлены как среднее со стандартной ошибкой среднего ($M \pm SEM$) для экспрессии мРНК)

Fig. 2. The expression level of immunity-related genes in the cecal tissues of broiler chickens when using phytocompositions in their diet, RU (the dashed horizontal line indicates the gene expression level in the control group; *, ** — statistically significant difference in ΔCt values compared to the control at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$ respectively according to the t-test; results are presented as mean $\pm$ standard error of the mean ($M \pm SEM$) for mRNA expression)

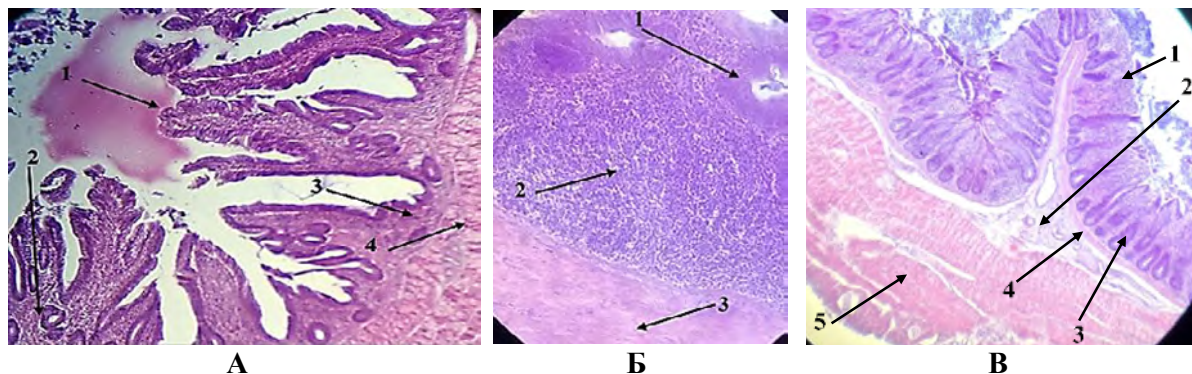


Результаты анализа относительной экспрессии генов резистентности в тканях слепой кишки цыплят-бройлеров представлены на рисунке 2.

Установлено многократное статистически значимое снижение экспрессии исследованных генов резистентности под влиянием биологически активных соединений в составе фитогенных композиций. Так, экспрессия гена *AvBD9*, кодирующего соответствующий антимикробный пептид, сокращалась во 2-й группе в 7 раз ($p \leq 0,05$), гена *AvBD10* — в 12,7 раз ($p \leq 0,05$) во 2-й и в 140 раз ($p \leq 0,01$) в 3-й группах. Экспрессия гена *IL6* снижалась без статистической достоверности из-за вариабельной экспрессии в контрольной группе, однако, экспрессия *IL8L2* в 3-й опытной группе

Рис. 3. Гистологическая структура элементов слепой кишки цыплят-бройлеров при использовании в кормлении фитогенных композиций: А — стенки слепой кишки птицы из 1-й контрольной группы (Увеличение 40х): 1 — Эпителий слизистой оболочки; 2 — Подслизистая основа; 3 — Лимфатические скопления в подслизистой основе; 4 — Мышечная оболочка. Б — стенки слепой кишки птицы из 1-й контрольной группы (Увеличение 400х): 1 — Кипты слизистой оболочки; 2 — Скопление лимфоидных клеток; 3 — Гладкие миоциты мышечной оболочки. В — слизистой оболочки в составе стенки слепой кишки птицы из 2-й группы (Увеличение 40х): 1 — Эпителий слизистой оболочки; 2 — Подслизистая основа; 3 — Кипты слизистой оболочки; 4 — Мышечная пластинка; 5 — Мышечная оболочка

Fig. 2. Histological structure of the cecal elements in broiler chickens fed with phytogenic compositions: А — Cecal wall of a bird from the 1st control group (Magnification 40х): 1 — Mucosal epithelium; 2 — Submucosal layer; 3 — Lymphoid aggregates in the submucosa; 4 — Muscular layer. Б — Cecal wall of a bird from the 1st control group (Magnification 400х): 1 — Mucosal crypts; 2 — Lymphoid cell clusters; 3 — Smooth muscle myocytes of the muscular layer. В — Mucosal layer within the cecal wall of a bird from the 2nd group (Magnification 40х): 1 — Mucosal epithelium; 2 — Submucosal layer; 3 — Mucosal crypts; 4 — Muscularis mucosae; 5 — Muscular layer



достовременно снизилась в 154 раза ($p \leq 0,01$). Аналогичное явление наблюдалось в отношении транскрипционной активности гена *IRF7*, которая в 3-й группе сократилась в 47 раз ($p \leq 0,05$).

Морфогистологический анализ не выявил патологических изменений в стенке слепой кишки цыплят. Гистоструктура органа у всех особей указывала на нормальное протекание физиологических процессов пищеварения, свойственного для изучаемого отдела толстого кишечника (рисунок 3).

Однако анализ гистологических препаратов выявил различие между группами (табл. 4).

Высота эпителия в контрольной группе составила 44,46 мкм, в то время как в опытных группах данный параметр был ниже — на 24,7% во 2-й и на 49,1% в 3-й опытной группе ($p \leq 0,001$). Для 2-й опытной группы было характерно повышение глубины крипт по сравнению с контролем на 80,5% ($p \leq 0,001$). Толщина мышечной пластинки и мышечной оболочки была выше на 6,5% ($p \leq 0,05$) и 14,8% ($p \leq 0,001$) во 2-й и 3-й группах соответственно. Толщина подслизистой основы в опытных группах находилась на одном уровне, в то время как в контроле была существенно выше — в 2,8–2,9 раза ($p \leq 0,001$). Кроме того, в подслизистой оболочке слепой кишки цыплят контрольной группы было зарегистрировано большое количество скоплений лимфоцитов.

Комплексно рассматривая полученные данные молекулярно-генетических, микробиологических и гистологических исследований, взаимно дополняющие друг друга, можно прийти к выводу о наличии у разработанной фитогенной композиции противовоспалительных свойств с потенциалом снижения численности условно-патогенной микробиоты, в то время как анализ изучаемых признаков по

отдельности мог сформировать неверные представления о влиянии на состояние кишечника.

Одним из ключевых факторов, объясняющих различный иммунный и морфологический статус птицы в контрольной и опытных группах, является разница в численности *Escherichia coli* в микробиоме слепой кишки. В контрольной группе доля *E. coli* более чем в три раза превышает показатель во 2-й опытной группе и более чем в 16 раз — в 3-й группе. Несмотря на то, что *E. coli* является естественным обитателем кишечника птицы, от 10 до 15% видов кишечной палочки, выделенных из желудочно-кишечного тракта цыплят-бройлеров, в зависимости от генотипических и фенотипических признаков могут быть патогенными и повышение численности этого микроорганизма может служить фактором развития хронического воспаления [16, 17], в связи с чем Панин А.Н. с соавт. отмечают необходимость создания новых терапевтических и профилактических средств, направленных на борьбу с этой разнообразной группой патогенов [18].

Таблица 4. Показатели гистологической структуры слепого кишечника цыплят-бройлеров при использовании в кормлении фитогенных композиций, мкм, $M \pm m$, $n = 3$

Table 4. Indicators of the histological structure of the cecal appendix of broiler chickens when using phytogenic compositions in their diet, μm , $M \pm m$, $n = 3$

Показатель	Группа			p-Value
	1 контроль	2 опыт	3 опыт	
Высота эпителия	44,46 $\pm$ 0,396 ^a	33,50 $\pm$ 0,630 ^b	22,62 $\pm$ 0,623 ^c	<0,001
Глубина крипт	270,35 $\pm$ 3,814 ^b	487,94 $\pm$ 6,513 ^a	261,57 $\pm$ 2,524 ^b	<0,001
Толщина мышечной пластинки	19,26 $\pm$ 0,255 ^b	20,62 $\pm$ 0,421 ^a	13,64 $\pm$ 0,264 ^c	<0,001
Толщина подслизистой оболочки	135,95 $\pm$ 4,092 ^a	47,64 $\pm$ 0,818 ^b	47,75 $\pm$ 1,005 ^b	<0,001
Толщина мышечной оболочки	300,15 $\pm$ 5,632 ^b	344,44 $\pm$ 3,307 ^a	303,42 $\pm$ 3,392 ^b	<0,001

Примечание: a, b, c — разность между значениями, обозначенными разными буквами, достоверна при $p \leq 0,05$

В подтверждение этому следует отметить, что результаты бионформатической обработки результатов полногеномного секвенирования кишечного микробиома птицы указывали на преобладание факторов вирулентности, идентифицированных именно у *E. coli*. В частности, в геноме кишечной палочки были выявлены такие гены, кодирующие вирулентные белки, как *ybtA* (ерсиниабактин, регуляторный ген острова высокопатогенности, обеспечивающий поглощение железа бактерией [19]), *iroE* (сальмохелин, обеспечение системы захвата железа, входит в пятерку генов, наиболее тесно связанными с высокопатогенными штаммами *E. coli* [20]), *fliA* (обеспечение подвижности бактерий [21]), а также *epaQ*, *ycbV*, *ykgK/espR*, *fliP*, *espL4*, *cheB*, *stgC* и другие, в то время как вирулентных факторов *Clostridium perfringens* не было обнаружено в силу малой численности этого микроорганизма.

Следовательно, учитывая функциональные свойства идентифицированной в слепой кишке цыплят *E. coli*, исследованные варианты фитогенной композиции способны регулировать численность этого вида микроорганизмов как носителя генов вирулентности и представителя условно-патогенной микробиоты, способного вызывать воспалительные процессы в кишечнике.

По всей видимости отсутствие каких-либо стабилизаторов кишечной микробиоты в рационе цыплят контроля стало причиной высокой численности *Escherichia coli*, что, в свою очередь, приводило к наличию в контрольной группе признаков воспаления слепой кишки, выявленных по результатам гистологических и молекулярно-генетических исследований.

Различные кормовые факторы оказывают значительное влияние на экспрессию генов у птицы, что обуславливает необходимость учета влияния кормления на элементы транскриптома и их влияние на фенотип птицы [22]. Так называемые β -дефензины птицы (Avian β -defensins, *AvBD*) — это гены, которые кодируют белки — антимикробные пептиды, осуществляющие ряд защитных механизмов по отношению к различным микроорганизмам. Вместе с цитокинами и Toll-подобными рецепторами β -дефензины птицы составляют основу комплекса генов-маркеров врожденного иммунитета [23, 24].

Основная функция генов и кодирующих ими белков интерлейкинов (*IL*) заключается в привлечении к месту инфекции дополнительных лейкоцитов, обеспечивающих протекание воспалительных реакций и барьерную защиту эпителиальной ткани.

Следует подчеркнуть, что сверхвысокая экспрессия интерлейкинов является маркером патогенеза различных инфекционных заболеваний, включая COVID-19, и снижения продуктивности сельскохозяйственных животных. Были зарегистрированы случаи негативных изменений в организме животных при введении препаратов на

их основе [14], что позволяет считать эти гены, например, *IL6*, маркером хронического воспаления [25]. Ген *IRF7* модулирует широкий спектр клеточных процессов во врожденном иммунном ответе организма-хозяина при вирусной инфекции [26].

Столь многократное снижение экспрессии генов резистентности в тканях слепой кишки цыплят-бройлеров, установленное в настоящем исследовании, отражает, по всей видимости, нормализацию иммунного гомеостаза на фоне снижения патогенной нагрузки. Вероятно, комплексное использование биологически активных соединений растительных экстрактов, взятых в качестве компонентов фитогенной композиции, оказывало противовоспалительное влияние на кишечник птицы, улучшая его здоровье, при этом сокращая численность условно-патогенной микробиоты. Наиболее выраженное сокращение экспрессии генов воспаления и сопротивления организма к патогенным микроорганизмам было характерно для 3-й опытной группы, в рецептуре фитогенной композиции которой доля экстракта тимьяна ползучего была выше, чем во 2-й группе. В раннем исследовании именно этот экстракт продемонстрировал ярко выраженные иммуномодулирующие свойства [11].

Полученные результаты соответствуют сформировавшейся парадигме противовоспалительного эффекта фитобиотиков, обеспечиваемого, в том числе, супрессией транскрипции генов белков воспаления — цитокинов. В научной литературе описывается единый механизм подавления воспалительных процессов фитохимическими соединениями — через снижение активности наиболее известных медиаторов воспаления, к числу которых относят отраженный в настоящем исследовании интерлейкин-6 [7, 27–29].

Гипотеза о снижении воспалительных процессов в слепой кишке цыплят-бройлеров под действием фитогенных композиций вследствие сокращения численности *E. coli* подтверждается результатами гистологических исследований.

В первую очередь, необходимо подчеркнуть, что в опытных группах была отмечена высокая сохранность эпителиальных клеток и отсутствие признаков дегенерации слизистой оболочки, тогда как для контрольной группы были характерны признаки разрушения, неоднородного развития и угнетения эпителиальных клеток, в частности, изменения апикальных полюсов клеток. При отсутствии результатов анализа микробного сообщества с выяснением функциональной роли *E. coli*, обнаруженной в контрольной группе в большем количестве, результаты сокращения эпителиального слоя в контрольных группах можно было бы рассматривать как индикатор иммуносупрессии. Однако, Belote et al. указывают в работе, посвященной применению различных морфометрических методов исследования слизистой оболочки кишечника и их взаимосвязи с

продуктивностью бройлеров при заражении эймериями, что более крупные элементы эпителиальной ткани в кишечнике не в обязательном порядке связаны с лучшей функциональностью этого органа и могут являться следствием иммунных процессов, происходящих внутри [30]. Поскольку в научной литературе нет четких референсных значений морфологических особенностей органов пищеварения цыплят-бройлеров в динамике онтогенеза, допускается предположить, что наибольшая высота эпителиальной ткани у цыплят контроля связана с повышенной относительно опытных групп патогенной нагрузкой в кишечнике, по всей видимости, вызывающую воспалительную гипертрофию эпителия и компенсаторную пролиферацию клеток, в то время как сокращение численности кишечной палочки в опытных группах не сопровождалось указанными явлениями.

В то время как в контрольной группе высокая высота эпителия сочеталась с низкой глубиной крипт, что позволяет предположить факт воспалительной гипертрофии. Во 2-й опытной группе наблюдалось увеличение глубины крипт, что может быть свидетельством истинной активации регенераторных процессов в зоне створчатых клеток. Увеличение глубины крипт и их разрастание в кишке цыплят 2-й группы указывает на увеличение площади активной поверхности стенки кишечника, и это, вероятно, обеспечивает наиболее интенсивные процессы бактериального расщепления клетчатки корма.

Увеличение толщины мышечной пластинки и мышечной оболочки во 2-й опытной группе может свидетельствовать о более высокой перистальтической и эвакуационной способности органа из-за плотного химуса с небольшим количеством оставшейся после ферментации бактериями целлюлозы, что особенно важно при повышенном содержании клетчатки в рационе бройлеров.

Уменьшение толщины подслизистой основы в структуре кишечника цыплят опытных групп и отсутствие в них ярко выраженной в контроле лимфоидной инфильтрации является наиболее показательным фактом отсутствием хронических воспалительных процессов.

Как известно, слепая кишка цыплят содержит специализированные лимфоидные структуры — миндалины слепой кишки (caecal tonsils), входящие в систему кишечника-ассоциированной лимфоидной ткани (GALT) и играющие значительную роль в локальном иммунном ответе [31]. При длительной патогенной нагрузке происходит гиперплазия этих структур, что проявляется утолщением подслизистого слоя и инфильтрацией его лимфоцитами при параллельном сокращении толщины мышечных элементов стенки кишечника [32]. Описанная совокупность гистологических изменений была характерна для 2-й опытной группы, что согласуется

с вышеописанными изменениями. Кроме того, снижение толщины подслизистой оболочки могло быть связано с общим увеличением длины слепой кишки цыплят опытных групп, которая в контроле составила $14,5 \pm 0,09$ см, в то время как во 2-й и 3-й опытных группах — $16,7 \pm 0,44$ и $15,8 \pm 1,41$ см соответственно, без признаков патологии.

Наконец, результаты выращивания цыплят-бройлеров свидетельствовали о том, что сохранность в 1-й контрольной и 2-й опытной группах находилась на одном уровне — 97,7%, в 3 группе была незначительно меньше — 95,3%. Результаты анализа конверсии корма, опубликованные в более раннем исследовании [33], свидетельствовали о сокращении затрат корма на 1 кг прироста во 2-й опытной группе на 2,5%. Известно, что воспалительные процессы в организме сельскохозяйственных животных сопровождаются снижением уровня продуктивности.

Улучшение конверсии корма во 2-й группе противоречит возможному нарушению кишечного гомеостаза и подтверждает вышеописанные предположения о положительном влиянии разработанных фитогенных композиций на состояние кишечника цыплят-бройлеров, выражаемое в снижении численности *E. coli* — носителя вирулентных генов, сокращении экспрессии генов воспаления и сопротивления к патогенам, улучшении морфогистологического состояния органа.

При этом, в связке с анализом продуктивности, наиболее эффективной следует рассматривать фитогенную композицию, представленную следующим составом: 40% экстракта цикория, 35% экстракта левзеи, 15% экстракта тимьяна и 10% экстракта зверобоя.

Выводы/Conclusion

Результаты молекулярно-генетических, морфогистологических и микробиологических исследований совокупно указывали на наличие в контрольной группе воспалительных процессов, вероятно, связанных, в первую очередь, с высокой численностью в микробиоме кишечной палочки, обладающей факторами вирулентности, обусловленной отсутствием в рационе каких-либо стабилизаторов кишечной микробиоты, в то время как в опытных группах биологически активные соединения разных вариантов фитогенной композиции оказывали микробиом-стабилизирующий, противовоспалительный и иммуномодулирующий эффект. Это позволяет рассматривать их в качестве кормовых биодобавок, направленных на улучшение здоровья кишечника цыплят-бройлеров.

Фитогенную композицию, представленную на 40% экстрактом цикория, 35% экстрактом левзеи, 15% экстрактом тимьяна и 10% экстрактом зверобоя, следует рассматривать как наиболее эффективную рецептуру для использования в кормлении цыплят-бройлеров.

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 при финансовой поддержке Российского научного фонда № 25-26-00176 «Изучение микробиоценоза кишечника и транскрипционной активности генов продуктивности и резистентности цыплят-бройлеров при комплексном использовании биологически активных соединений растительного происхождения с разными функциональными свойствами». <https://rscf.ru/project/25-26-00176/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фисинин В. Мировое и отечественное птицеводство: реалии и вызовы будущего. *Животноводство России*. 2025; (1): 8–13. EDN GEOATN
2. Шацких Е.В., Королькова-Субботкина Д.Е. Состояние кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион фитобиотической добавки. *Аграрный вестник Урала*. 2022; (S14): 81–91. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-229-14-81-91>
3. Севастьянова Т.В., Уша Б.В., Носков С.Б., Альшевская А.А. Влияние функциональных целевых пробиотиков на показатели неспецифической резистентности молодячка сельскохозяйственных животных. *Аграрная наука*. 2025; (11): 22–32. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-22-32>
4. Вертипрахов В.Г. Физиология кишечного пищеварения у кур (экспериментальный подход). М.: *Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева*. 2022; 175. ISBN 978-5-9675-1887-4. EDN VCFYF
5. Oni A.I., Oke O.E. Gut health modulation through phytochemicals in poultry: mechanisms, benefits, and applications. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025; 12: 1616734. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1616734>
6. Oni A.I., Adeleye O.O., Adebawale T.O., Oke O.E. The role of phytochemical feed additives in stress mitigation in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2024; 108(1): 81–98. <https://doi.org/10.1111/jpn.13869>
7. Obianwuna U.E. et al. Phytochemicals in poultry: revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2024; 15: 169. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01101-9>
8. Gou H.-Z., Zhang Y.-L., Ren L.-F., Li Z.-J., Zhang Z. How do intestinal probiotics restore the intestinal barrier? *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 929346. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.929346>
9. Zainuddin, Darmawan A., Sumiati, Wiryawan K.G., Nahrowi. Effects of Dietary *Bacillus coagulans* D3372 Supplementation as Probiotics on Broiler Performance, Ileal Microflora, Meat Quality, Nutrient Retention, and Metabolizable Energy. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2020; 8(1): 115–123. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2020/8.1.115.123>
10. Лаптев Г.Ю. и др. Микробиом сельскохозяйственных животных: связь со здоровьем и продуктивностью. СПб.: *Проспект науки*. 2020; 334. ISBN 978-5-906109-99-6. EDN ONQNK
11. Selionova M.I., Trukhachev V.I., Zagarin A.Y., Kulikov E.I., Belyaeva N.P. Effects of Dietary Supplementation Using Phytochemicals with Different Functional Properties on Expression of Immunity Genes, Intestinal Histology, Growth, and Meat Productivity of Broiler Chickens. *Veterinary Sciences*. 2025; 12(4): 302. <https://doi.org/10.3390/vetsci12040302>
12. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the 2^{-ΔΔC_T} Method. *Methods*. 2001; 25(4): 402–408. <https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>
13. Лаптев Г.Ю. и др. Экспрессия генов иммунитета и адаптации и состав микробиома у родительского поголовья кур и петухов (*Gallus gallus* L.) линий CM5 и CM9 кросса Смена 9. *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(2): 313–332. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.2.313rus>
14. Тюрина Д.Г. и др. Продуктивность и экспрессия генов у цыплят-бройлеров (*Gallus gallus* L.) кросса Ross 308 под влиянием антибиотиков, глифосата и штамма *Bacillus* sp. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(6): 1147–1165. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.6.1147rus>
15. Ылдырым Е.А. и др. Экспрессия ключевых генов в слепой кишке у кур линий CM5 и CM9 мясного кросса «Смена 9» на фоне замены рыбной муки. *Аграрная наука*. 2023; (9): 52–58. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-52-58>
16. Fancher C.A., Zhang L., Kiess A.S., Adhikari P.A., Dinh T.T.N., Sukumaran A.T. Avian Pathogenic *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens*: Challenges in No Antibiotics Ever Broiler Production and Potential Solutions. *Microorganisms*. 2020; 8(10): 1533. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101533>
17. Waliaula P.K., Kiarie E.G., Diarra M.S. Predisposition factors and control strategies of avian pathogenic *Escherichia coli* in laying hens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1474549. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1474549>
18. Панин А.Н., Моторыгин А.В., Абросимова Н.С., Межиева З.Х., Прасолова О.В., Маноян М.Г. Определение вида *Escherichia coli*: проблемы таксономии и филогении. *Аграрная наука*. 2025; (12): 22–27. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-22-27>
19. Smati M. et al. Strain-specific impact of the high-pathogenicity island on virulence in extra-intestinal pathogenic *Escherichia coli*. *International Journal of Medical Microbiology*. 2017; 307(1): 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2016.11.004>
20. Johnson T.J., Wannemuehler Y., Doetkott C., Johnson S.J., Rosenberger S.C., Nolan L.K. Identification of Minimal Predictors of Avian Pathogenic *Escherichia coli* Virulence for Use as a Rapid Diagnostic Tool. *Journal of Clinical Microbiology*. 2008; 46(12): 3987–3996. <https://doi.org/10.1128/JCM.00816-08>
21. Claret L., Miquel S., Vieille N., Ryjenkov D.A., Gomelsky M., Darfeuille-Michaud A. The Flagellar Sigma Factor FliA Regulates Adhesion and Invasion of Crohn Disease-associated *Escherichia coli* via a Cyclic Dimeric GMP-dependent Pathway. *Journal of Biological Chemistry*. 2007; 282(46): 33275–33283. <https://doi.org/10.1074/jbc.M702800200>
22. Ылдырым Е.А. и др. Влияние различных форм лизина и метионина в рационе бройлеров на профиль транскрипции ключевых генов. *Аграрная наука*. 2025; (2): 87–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-87-94>

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

This research was funded by Russian Science Foundation No. 25-26-00176 «Study of intestinal microbiocenosis and transcriptional activity of genes of productivity and resistance of broiler chickens under complex use of biologically active compounds of vegetable origin with different functional properties» <https://rscf.ru/project/25-26-00176/>

REFERENCES

1. Fisinin V. Global and domestic poultry farming: realities and challenges of the future. *Animal Husbandry of Russia*. 2025; (1): 8–13 (in Russian). EDN GEOATN
2. Shatskikh E.V., Korolkova-Subbotkina D.E. The state of the intestines of broiler chickens when a phytobiotic supplement is included in the diet. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; (S14): 81–91 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-229-14-81-91>
3. Sevastyanova T.V., Usha B.V., Noskov S.B., Alshevskaya A.A. The effect of functional targeted probiotics on the indicators of nonspecific resistance in young farm animals. *Agrarian science*. 2025; (11): 22–32 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-22-32>
4. Vertiprakhov V.G. Physiology of intestinal digestion in chickens (Experimental approach). Moscow: *Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy*. 2022; 175 (in Russian). ISBN 978-5-9675-1887-4. EDN: VCFYF
5. Oni A.I., Oke O.E. Gut health modulation through phytochemicals in poultry: mechanisms, benefits, and applications. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025; 12: 1616734. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1616734>
6. Oni A.I., Adeleye O.O., Adebawale T.O., Oke O.E. The role of phytochemical feed additives in stress mitigation in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2024; 108(1): 81–98. <https://doi.org/10.1111/jpn.13869>
7. Obianwuna U.E. et al. Phytochemicals in poultry: revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2024; 15: 169. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01101-9>
8. Gou H.-Z., Zhang Y.-L., Ren L.-F., Li Z.-J., Zhang Z. How do intestinal probiotics restore the intestinal barrier? *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 929346. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.929346>
9. Zainuddin, Darmawan A., Sumiati, Wiryawan K.G., Nahrowi. Effects of Dietary *Bacillus coagulans* D3372 Supplementation as Probiotics on Broiler Performance, Ileal Microflora, Meat Quality, Nutrient Retention, and Metabolizable Energy. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2020; 8(1): 115–123. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2020/8.1.115.123>
10. Laptev G.Yu. et al. Microbiome of farm animals: relationship with health and productivity. St. Petersburg: *Prospekt nauki*. 2020; 334 (in Russian). ISBN 978-5-906109-99-6. EDN ONQNK
11. Selionova M.I., Trukhachev V.I., Zagarin A.Y., Kulikov E.I., Belyaeva N.P. Effects of Dietary Supplementation Using Phytochemicals with Different Functional Properties on Expression of Immunity Genes, Intestinal Histology, Growth, and Meat Productivity of Broiler Chickens. *Veterinary Sciences*. 2025; 12(4): 302. <https://doi.org/10.3390/vetsci12040302>
12. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the 2^{-ΔΔC_T} Method. *Methods*. 2001; 25(4): 402–408. <https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>
13. Laptev G.Yu. et al. Expression of genes of immune response and adaptation and cecal microbiome composition in males and females of chickens (*Gallus gallus* L.) in CM5 and CM9 parental lines of Smena 9 cross. *Agricultural Biology*. 2023; 58(2): 313–332. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.2.313eng>
14. Tyurina D.G. et al. Influence of antibiotics, glyphosate and a *Bacillus* sp. strain on productivity performance and gene expression in cross Ross 308 broiler chickens (*Gallus gallus* L.). *Agricultural Biology*. 2022; 57(6): 1147–1165. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.6.1147eng>
15. Yildirim E.A. et al. Expression of key genes in the caecum in CM5 and CM9 chickens of the meat cross «Smena 9» against the background of the replacement of fishmeal. *Agrarian science*. 2023; (9): 52–58 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-52-58>
16. Fancher C.A., Zhang L., Kiess A.S., Adhikari P.A., Dinh T.T.N., Sukumaran A.T. Avian Pathogenic *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens*: Challenges in No Antibiotics Ever Broiler Production and Potential Solutions. *Microorganisms*. 2020; 8(10): 1533. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101533>
17. Waliaula P.K., Kiarie E.G., Diarra M.S. Predisposition factors and control strategies of avian pathogenic *Escherichia coli* in laying hens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1474549. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1474549>
18. Panin A.N., Motorygin A.V., Abrosimova N.S., Mezheva Z.Kh., Prasolova O.V., Manoyan M.G. Definition of the species *Escherichia coli*: problems of taxonomy and phylogeny. *Agrarian science*. 2025; (12): 22–27 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-22-27>
19. Smati M. et al. Strain-specific impact of the high-pathogenicity island on virulence in extra-intestinal pathogenic *Escherichia coli*. *International Journal of Medical Microbiology*. 2017; 307(1): 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2016.11.004>
20. Johnson T.J., Wannemuehler Y., Doetkott C., Johnson S.J., Rosenberger S.C., Nolan L.K. Identification of Minimal Predictors of Avian Pathogenic *Escherichia coli* Virulence for Use as a Rapid Diagnostic Tool. *Journal of Clinical Microbiology*. 2008; 46(12): 3987–3996. <https://doi.org/10.1128/JCM.00816-08>
21. Claret L., Miquel S., Vieille N., Ryjenkov D.A., Gomelsky M., Darfeuille-Michaud A. The Flagellar Sigma Factor FliA Regulates Adhesion and Invasion of Crohn Disease-associated *Escherichia coli* via a Cyclic Dimeric GMP-dependent Pathway. *Journal of Biological Chemistry*. 2007; 282(46): 33275–33283. <https://doi.org/10.1074/jbc.M702800200>
22. Yildirim E.A. et al. Effect of different forms of lysine and methionine in broiler diets on the key genes transcriptional profile. *Agrarian science*. 2025; (2): 87–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-87-94>

23. Mirakzahi M.T., Agah M.J., Baranzehi T., Saleh H. The Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and Citric Acid on Productive Performance, Egg Quality Parameters, Small Intestinal Morphology, and Immune-Related Gene Expression in Laying Japanese Quails. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2022; 24(4): 1–12. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1678>
24. Shimizu M., Nii T., Isobe N., Yoshimura Y. Effects of avian infectious bronchitis with Newcastle disease and Marek's disease vaccinations on the expression of toll-like receptors and avian β -defensins in the kidneys of broiler chicks. *Poultry Science*. 2020; 99(12): 7092–7100. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.071>
25. Ылдырым Е.А. и др. L-карнитин-индуцированные изменения в профиле экспрессии ключевых генов у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» с учетом половых различий. *Аграрная наука*. 2025; (10): 81–90. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90>
26. Kim T.H., Zhou H. Overexpression of Chicken IRF7 Increased Viral Replication and Programmed Cell Death to the Avian Influenza Virus Infection Through TGF- β /FoxO Signaling Axis in DF-1. *Frontiers in Genetics*. 2018; 9: 415. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00415>
27. Sarkar D. The anti-inflammatory activity of plant derived ingredients: an analytical review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2020; 11(2): 496–506. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11\(2\).496-06](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11(2).496-06)
28. Saleh H.A., Yousef M.H., Abdelnaser A. The Anti-Inflammatory Properties of Phytochemicals and Their Effects on Epigenetic Mechanisms Involved in TLR4/NF- κ B-Mediated Inflammation. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 606069. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.606069>
29. Pandey S. *et al.* Cutting-edge knowledge on the roles of phytobiotics and their proposed modes of action in swine. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1265689. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1265689>
30. Belote B.L. *et al.* Applying different morphometric intestinal mucosa methods and the correlation with broilers performance under *Eimeria* challenge. *Poultry Science*. 2023; 102(9): 102849. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102849>
31. Li L., Kubasová T., Rychlik I., Hoerr F.J., Rautenschlein S. Infectious bursal disease virus infection leads to changes in the gut associated-lymphoid tissue and the microbiota composition. *PLOS One*. 2018; 13(2): e0192066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192066>
32. Kitagawa H., Imagawa T., Uehara M. The apical caecal diverticulum of the chicken identified as a lymphoid organ. *Journal of Anatomy*. 1996; 189(3): 667–672.
33. Selionova M., Zagarin A., Lysenko Yu. Impact of a phytogetic composition on feed conversion and certain digestive mechanisms in broiler chickens. *BIO Web of Conferences*. 2025; 194: 01039. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202519401039>
23. Mirakzahi M.T., Agah M.J., Baranzehi T., Saleh H. The Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and Citric Acid on Productive Performance, Egg Quality Parameters, Small Intestinal Morphology, and Immune-Related Gene Expression in Laying Japanese Quails. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2022; 24(4): 1–12. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1678>
24. Shimizu M., Nii T., Isobe N., Yoshimura Y. Effects of avian infectious bronchitis with Newcastle disease and Marek's disease vaccinations on the expression of toll-like receptors and avian β -defensins in the kidneys of broiler chicks. *Poultry Science*. 2020; 99(12): 7092–7100. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.071>
25. Yildirim E.A. *et al.* L-carnitine-induced changes in the expression profile of key genes in broiler chickens of the "Smena 9" cross, taking into account sex differences. *Agrarian science*. 2025; (10): 81–90 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90>
26. Kim T.H., Zhou H. Overexpression of Chicken IRF7 Increased Viral Replication and Programmed Cell Death to the Avian Influenza Virus Infection Through TGF- β /FoxO Signaling Axis in DF-1. *Frontiers in Genetics*. 2018; 9: 415. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00415>
27. Sarkar D. The anti-inflammatory activity of plant derived ingredients: an analytical review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2020; 11(2): 496–506. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11\(2\).496-06](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.11(2).496-06)
28. Saleh H.A., Yousef M.H., Abdelnaser A. The Anti-Inflammatory Properties of Phytochemicals and Their Effects on Epigenetic Mechanisms Involved in TLR4/NF- κ B-Mediated Inflammation. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 606069. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.606069>
29. Pandey S. *et al.* Cutting-edge knowledge on the roles of phytobiotics and their proposed modes of action in swine. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1265689. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1265689>
30. Belote B.L. *et al.* Applying different morphometric intestinal mucosa methods and the correlation with broilers performance under *Eimeria* challenge. *Poultry Science*. 2023; 102(9): 102849. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102849>
31. Li L., Kubasová T., Rychlik I., Hoerr F.J., Rautenschlein S. Infectious bursal disease virus infection leads to changes in the gut associated-lymphoid tissue and the microbiota composition. *PLOS One*. 2018; 13(2): e0192066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192066>
32. Kitagawa H., Imagawa T., Uehara M. The apical caecal diverticulum of the chicken identified as a lymphoid organ. *Journal of Anatomy*. 1996; 189(3): 667–672.
33. Selionova M., Zagarin A., Lysenko Yu. Impact of a phytogetic composition on feed conversion and certain digestive mechanisms in broiler chickens. *BIO Web of Conferences*. 2025; 194: 01039. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202519401039>

ОБ АВТОРАХ

Артём Юрьевич Загарин¹

ассистент, младший научный сотрудник
azagarin@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3782-3903>

Марина Ивановна Селионова¹

доктор биологических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник
selionova@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9501-8080>

Нина Петровна Беляева¹

кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник
muzanat@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0009-0006-0199-5662>

Юрий Андреевич Лысенко¹

доктор биологических наук, доцент, профессор, ведущий научный сотрудник
y.lysenko@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2629-2334>

Егор Игоревич Куликов²

заведующий лабораторией
kulikovegor33@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5553-4454>

Алексей Валерьевич Жевнеров¹

кандидат химических наук, доцент, директор Учебно-научного центра коллективного пользования
a.zhevnerov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1658-762X>

¹ Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

² Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства», ул. Птицеградская, 10, Сергиев Посад, 141311, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Artem Yurievich Zagarin¹

Assistant, Junior Researcher
azagarin@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3782-3903>

Marina Ivanovna Selionova¹

Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher
selionova@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9501-8080>

Nina Petrovna Belyaeva¹

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Researcher
muzanat@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0009-0006-0199-5662>

Yuri Andreevich Lysenko¹

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor, Leading Researcher
y.lysenko@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2629-2334>

Egor Igorevich Kulikov²

Head of the Laboratory
kulikovegor33@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5553-4454>

Alexey Valerievich Zhevnerov¹

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Director Educational and scientific center for collective use
a.zhevnerov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1658-762X>

¹ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia

² Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute",

10 Pitsegradskaya st., Sergiev Posad, 141311, Russia

Молекулярно-генетическая экспертиза марала (*Cervus elaphus*): разработка мультилокусной STR-панели для установления достоверности происхождения и генетической идентификации

РЕЗЮМЕ

Марал (*Cervus elaphus*, Linnaeus, 1758) — ценный подвид благородного оленя, являющийся источником уникального пантового сырья для биомедицинской промышленности. Разведение маралов в полувольных условиях затрудняет ведение точного зоотехнического учета и контроль родственных связей, а угроза нелегальной охоты требует надежных методов идентификации, что делает актуальной разработку тест-системы для генетической паспортизации и подтверждения достоверности происхождения животных. Целью исследования являлась разработка мультилокусной тест-системы на основе микросателлитных маркеров для молекулярно-генетической экспертизы маралов. Четкая идентификация всех 14 локусов на электрофореграммах свидетельствует о корректной работе мультиплексных ПЦР (полимеразная цепная реакция). Суммарно было детектировано 101 аллель. Наиболее полиморфными маркерами, пригодными для идентификации, признаны локусы Haut14 (13 аллелей), TGLA53 (13 аллелей) и T26 (12 аллелей). Ключевым показателем эффективности системы стала вероятность случайного совпадения генотипов двух индивидов (PI), составившая $3,32 \times 10^{-15}$, что практически исключает ошибку в идентификации. Совокупный дискриминирующий потенциал (CPD) составил 99,9999999999996%. Точность подтверждения происхождения по обоим родителям (P1X) и точность исключения обоих родителей (P3X) достигли 99,99%. Разработанная мультиплексная STR-панель из 14 локусов обладает исключительной дискриминирующей способностью. Полученные результаты позволяют рекомендовать данную тест-систему к внедрению в различных областях, включая селекционно-племенную работу в мараловодстве, проведение судебных экспертиз по фактам браконьерства, мониторинг популяций в системе охраны природы, а также изучение таксономии и генетической структуры благородного оленя.

Ключевые слова: *Cervus elaphus*, марал, STR-панель, микросателлиты, достоверность происхождения.

Для цитирования: Цыб А.М., Харзинова В.Р., Бакоев Н.Ф., Молекулярно-генетическая экспертиза марала (*Cervus elaphus*): разработка мультилокусной STR-панели для установления достоверности происхождения и генетической идентификации. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 105–113.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-105-113>

Molecular genetic examination of maral (*Cervus elaphus*): development of a multilocus STR panel to establish the reliability of origin and genetic identification

ABSTRACT

The maral (*Cervus elaphus*, Linnaeus, 1758) is a valuable subspecies of red deer, providing a unique source of antler material for the biomedical industry. Breeding marals in semi-captivity complicates accurate zootechnical records and family tree monitoring, and the threat of illegal hunting requires reliable identification methods, making the development of a test system for genetic certification and confirmation of the animals' provenance crucial. The aim of the study was to develop a multi-locus test system based on microsatellite markers for molecular genetic testing of marals. Clear identification of all 14 loci in electropherograms indicates the correct operation of multiplex PCR (polymerase chain reaction). In total, we detected 101 alleles. The most polymorphic markers suitable for identification were recognized as the Haut14 (13 alleles), TGLA53 (13 alleles), and T26 (12 alleles) loci. The key performance indicator of the system was the probability of a random match of the genotypes of two individuals (PI), which amounted to 3.32×10^{-15} , virtually eliminating identification error. The combined discriminatory potential (CPD) was 99.9999999999996%. The accuracy of confirming parentage for both parents (P1X) and the accuracy of excluding both parents (P3X) reached 99.99%. The developed multiplex STR panel of 14 loci possesses exceptional discriminatory power. The obtained results allow us to recommend this test system for implementation in various fields, including selection and breeding work in maral breeding, forensic examinations of poaching cases, population monitoring in nature conservation systems, and the study of the taxonomy and genetic structure of red deer.

Key words: *Cervus elaphus*, maral, STR multiplexes, microsatellites, provenance.

For citation: Tsyb A.M., Kharzinova V.R., Bakoev N.F. Molecular genetic examination of maral (*Cervus elaphus*): development of a multilocus STR panel to establish the reliability of origin and genetic identification. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 105–113 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-105-113>

Введение/Introduction

Марал (*Cervus elaphus*, Linnaeus, 1758) — крупный подвид благородного оленя, является лидером в производстве пантового оленеводства в сравнении с другими представителями данного направления продуктивности. Ареал обитания маралов в России простирается от Южной Сибири до озера Байкал, маралы также встречаются в других странах близ этих регионов, в Казахстане и Монголии [1]. Мараловодство является традиционной и экономически значимой отраслью животноводства в ряде регионов Российской Федерации, в особенности в Алтайском крае, Республике Алтай и Республика Тыва, в связи с тем, что панты, составляющие около 85% всей продукции, получаемые от данного подвида, являются уникальным сырьем для производства биологически активных добавок и лекарственных препаратов, традиционно используемых в медицине. Для сохранения продуктивных качеств и здоровья животных маралы содержатся и размножаются в полувольных условиях, по этой причине вести точный зоотехнический учет по установлению родственных связей — трудная задача [2]. Кроме того, в естественной среде обитая популяция марала подвергается интенсивному браконьерскому прессу, в результате которого значительная часть особей, мигрирующих за пределы охраняемых территорий, становится объектом нелегальной селективной охоты. [3]. В помощь хозяйствам и судебной экспертизе для установления достоверности происхождения и чистопородности, а также для идентификации биологического материала и доказательства незаконной добычи диких животных успешно применяются различные ДНК-маркеры, в том числе и STR-маркеры (микросателлиты). Микросателлиты представляют собой короткие tandemные повторы нуклеотидных последовательностей, характеризующиеся высоким уровнем полиморфизма, что обусловлено вариабельностью числа повторов у разных особей. STR-маркеры являются кодоминантными, по этой причине в генотипе особи проявляются оба аллеля, полученные от отца и от матери. Это свойство позволяет четко отследить передачу каждого маркера от родителей к потомству в строгом соответствии с законами Менделя, а высокий уровень полиморфизма STR-локусов делает микросателлитный анализ более информативными по сравнению с менее изменчивыми маркерами, так как вероятность случайного совпадения профилей у двух неродственных животных крайне мала [4]. Для типичных представителей сельскохозяйственной отрасли разработаны коммерческие и кастомные STR-панели, которые успешно применяются в селекционно-племенной работе. В федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» успешно разрабатываются STR-панели для различных видов сельскохозяйственных животных,

например, таких как як [5], стерлядь [6], северный олень [7], осётр [8] и пчелы [9]. Авторами предпринята попытка создания мультилокусной тест-системы для контроля достоверности происхождения животных в целях поддержки и улучшения селекционно-племенной работы данной отрасли животноводства. Помимо этого, предпринята попытка создать инструмент для криминалистической идентификации, который станет надежным подспорьем в борьбе с браконьерством.

Целью исследования являлась разработка мультилокусной тест-системы на основе микросателлитных маркеров для молекулярно-генетической экспертизы маралов.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование проводили в центре коллективного пользования «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

В качестве биологического материала были отобраны случайные неродственные образцы маралов ($n = 30$), относящихся к разным популяциям из биокolleкции «Банк генетического материала домашних и диких видов животных и птицы» (зарегистрирован Минобрнауки РФ № 498808), созданной и поддерживаемой в ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста. Все последующие расчеты информативности разработанной тест-системы были выполнены на малой выборке, в связи с этим некоторые показатели могут незначительно отличаться при увеличении объема выборки, а также при изучении различных популяций.

Выделение ДНК из образцов ушных выщипов осуществляли с помощью коммерческого набора ДНК-Экстрат-2 (НКП «Синтол» Россия), согласно протоколу фирмы-производителя. Качественную оценку выделенной ДНК исследуемых образцов проводили методом электрофореза в 1% агарозном геле, а концентрацию измеряли с помощью флуориметра Qubit 3.0 (ThermoFisher, США) с использованием набора Spectra Q HS (ООО «Сесана»).

Разработка STR-панели начиналась с обзора и анализа данных научной литературы в открытых базах данных и библиотечных ресурсах: PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), CyberLeninka (<https://cyberleninka.ru/>), для последующего отбора высокополиморфных микросателлитных локусов успешно амплифицированных в исследованиях вида *Cervus elaphus*. Всего было отобрано 30 полиморфных микросателлитных локусов: BL42, BMC1009, BM4107, BM4208, BM888, BM5004, RT1, INRA11, MM12, CSSM14, BM757, BM1818, CSSM19, CSSM22, COPS115, Haut14, C229, T26, T193, T501, CSSM16, ETH225, INRA35, BM203, BM848, BM6506, VH110, TGLA53 и OarAE129, ILSTS06, характеризующихся высокой полиморфностью и приводящиеся в наибольшем числе

публикаций [10]. Чтобы определить оптимальную температуру отжига праймеров, была проведена ПЦР с функцией градиент, для каждого локуса использовалось 3 образца маралов и 12 температурных режимов (53-67°C). Общий объем реакционной смеси на 15 мкл включал: 1,5 мкл 10x ПЦР-буфера (ЗАО «Евроген»), 1,5 мкл dNTP (1ммоль/л), 0,6 мкл праймеров, 0,15 мкл MgCl₂, 0,15 мкл ДНК-полимеразы Smart Taq и 1 мкл ДНК-матрицы. Полученный продукт амплификации был проанализирован с помощью капиллярного гель-электрофореза на ДНК-анализаторе «НАНОФОР 05» (НПФ «СИНТОЛ», Россия), в составе реакционной смеси было использовано: 9,5 мкл HI-Di формамида, 0,5 мкл стандарта (sd450 orange) и 1 мкл ампликонов. Определение длин фрагментов выполнялась в программном обеспечении GENEMARKER v1.97. (Soft Genetics, State College, PA).

Обработку и сортировку матрицы генотипов 30 образцов маралов проводили в Microsoft Excel (США). Функциональные (NA, NE, NO, HE, FIS,), криминалистические (PIC, PD, CPD) и генеалогические (PI, P1X, P2X, P3X) свойства разработанной STR-панели оценивали с использованием статистической надстройки GenAlex v6.51b2 [11] для Microsoft Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При проведении анализе первичных данных наличие неспецифических фрагментов было обнаружено для локусов BM757, INRA11, ETH225, ILSTS06, INRA35, BM6506, VN110 и (C)SPS115. В связи с невозможностью их элиминации посредством оптимизации программы амплификации, перечисленные локусы были исключены из последующей работы. Ввиду низкой полиморфности локусы MM12, CSSM14, CSSM22, BM203, T193 (2 аллеля) и BM5004 (3 аллеля) были исключены из разработки панели.

Формирование мультилокусной STR-панели проводилось на основе локусов, характеризующихся достаточным полиморфизмом и совместимостью праймеров по температуре отжига (63°C). Дополнительным условием являлась возможность мультиплексирования с использованием флуоресцентных меток, спектры которых не перекрываются, что обеспечивает корректную детекцию продуктов амплификации. По итогу нами было составлено два мультиплекса (рис. 1.).

В первый мультиплекс вошло 9 STR-маркеров (Haut14, BM4107, BL42, C229, BM888, BMC1009, CSSM19, BM1818, T26), во второй мультиплекс 5 STR-маркеров (TGLA53, RT1, BM848, T501, BM4208). Состав реакционной смеси для проведения ПЦР двух мультиплексов представлена в таблице 1.

Многоступенчатый протокол ПЦР, оптимизированный для двух тест-систем анализа STR-локусов и представленный в таблице 2, включает 30 циклов

Рис. 1. Перечень микросателлитных локусов, включенных в первый и второй мультиплексы STR-панели с указанием флуоресцентных меток и диапазонов длин аллелей.

Fig. 1. List of microsatellite loci included in the first and second multiplexes of the STR panel with indication of fluorescent labels and allele length ranges.

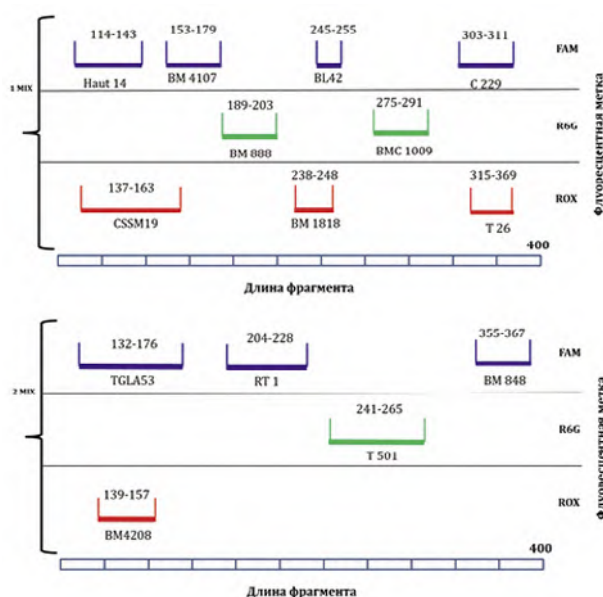


Таблица 1. Состав реакционной смеси двух мультиплексов STR-панели маралов.

Table 1. Composition of the reaction mixture of two multiplexes of the STR panel of marals.

Мультиплекс 1				
Компоненты смеси	Рабочая концентрация	Единица измерения	Флюоресцентная метка	Количество, мкл
Вода	–	–		2,31
ПЦР буфер	10	X		1
Смесь фосфатов	2	mM		1
Haut14	10	pmol/μL	FAM	0,6
BM4107	10	pmol/μL	FAM	0,3
BL42	10	pmol/μL	FAM	0,6
C229	10	pmol/μL	FAM	0,6
BM888	10	pmol/μL	R6G	0,14
BMC1009	10	pmol/μL	R6G	0,4
CSSM19	10	pmol/μL	ROX	0,6
BM1818	10	pmol/μL	ROX	0,6
T26	10	pmol/μL	ROX	0,6
Smart Taq полимеразы	5	U/μL		0,1
Объем реакционных компонентов				9
Исследуемая ДНК				1
Конечный объем, мкл				10
Мультиплекс 2				
Компоненты смеси	Рабочая концентрация	Единица измерения	Флюоресцентная метка	Количество, мкл
Вода	–	–		3,45
ПЦР буфер	10	X		1
Смесь фосфатов	2	mM		1
TGLA53	10	pmol/μL	FAM	0,6
RT1	10	pmol/μL	FAM	0,6
BM848	10	pmol/μL	FAM	0,6
T501	10	pmol/μL	R6G	0,3
BM4208	10	pmol/μL	ROX	0,6
Smart Taq полимеразы	5	U/μL		0,3
Объем реакционных компонентов				9
Исследуемая ДНК				1
Конечный объем, мкл				10

Таблица 2. Многоступенчатая программа амплификации STR-панели маралов.
Table 2. Multi-stage amplification program for the STR panel of marals.

Этап	t (°C), время (мин, сек)	Число циклов
Денатурация	94 °C, 3 мин	x1
Денатурация	98 °C, 30 сек	x4
Отжиг	63 °C 1 мин 30 сек	
Элонгация	72 °C, 1 мин 30 сек	
Денатурация	94 °C, 30 сек	x6
Отжиг	63 °C, 2 мин	
Элонгация	72 °C 1 мин, 30 сек	
Денатурация	90 °C, 30 сек	x18
Отжиг	63 °C, 2 мин	
Элонгация	72 °C 1 мин, 15 сек	
Заключительная элонгация	72 °C, 15 мин	x1
Охлаждение	4 °C, ∞	∞

с тремя различными температурно-временными режимами. Выбранные параметры направлены на обеспечение эффективности мультиплексной

амплификации, снижение уровня неспецифических продуктов и достижение сбалансированного накопления всех анализируемых микросателлитных локусов.

На рисунках 2–3 представлены фореграммы локусов микросателлитов разработанной тест-системы мультиплексного генотипирования STR-маркеров марала, отобранных в итоговую панель.

Тестирование разработанной STR-панели проведено на случайно сформированной выборке образцов маралов путем постановки двух мультиплексных ПЦР. Четкая идентификация всех 14 микросателлитных локусов на электрофореграммах позволила получить профили для последующей оценки функциональных характеристик системы, результаты которой представлены в таблице 3.

Рис.2. Результаты анализа образцов маралов по первому мультиплексу.
Fig. 2. Results of the analysis of maral samples for the first multiplex.

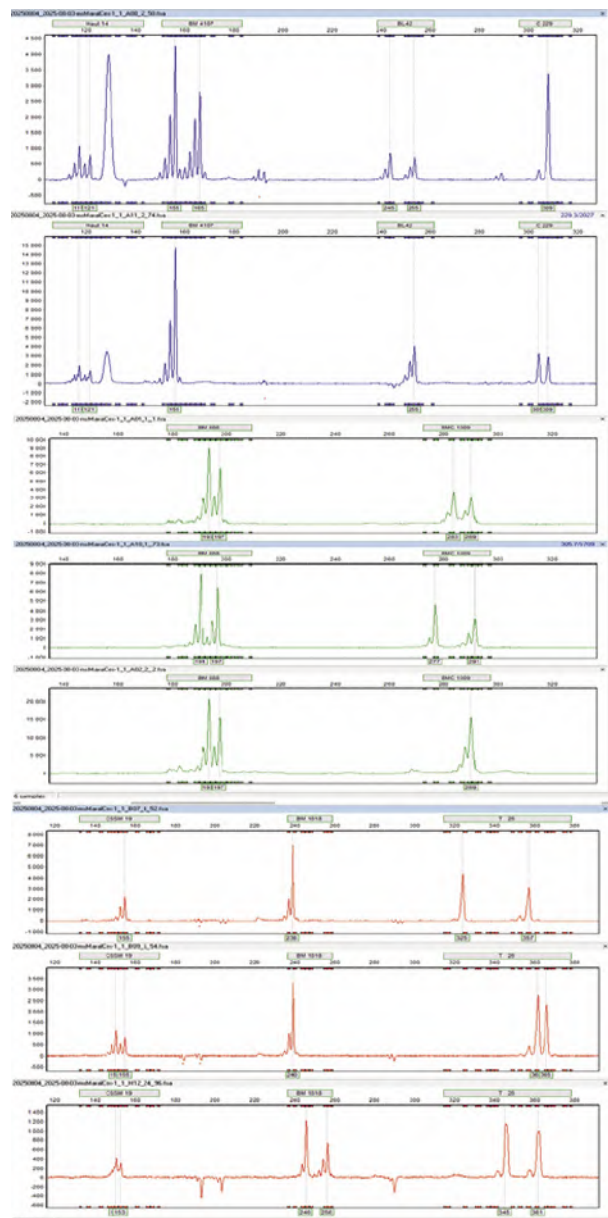


Рис.3. Результаты анализа образцов маралов по второму мультиплексу.
Fig. 3. Results of the analysis of maral samples for the second multiplex.

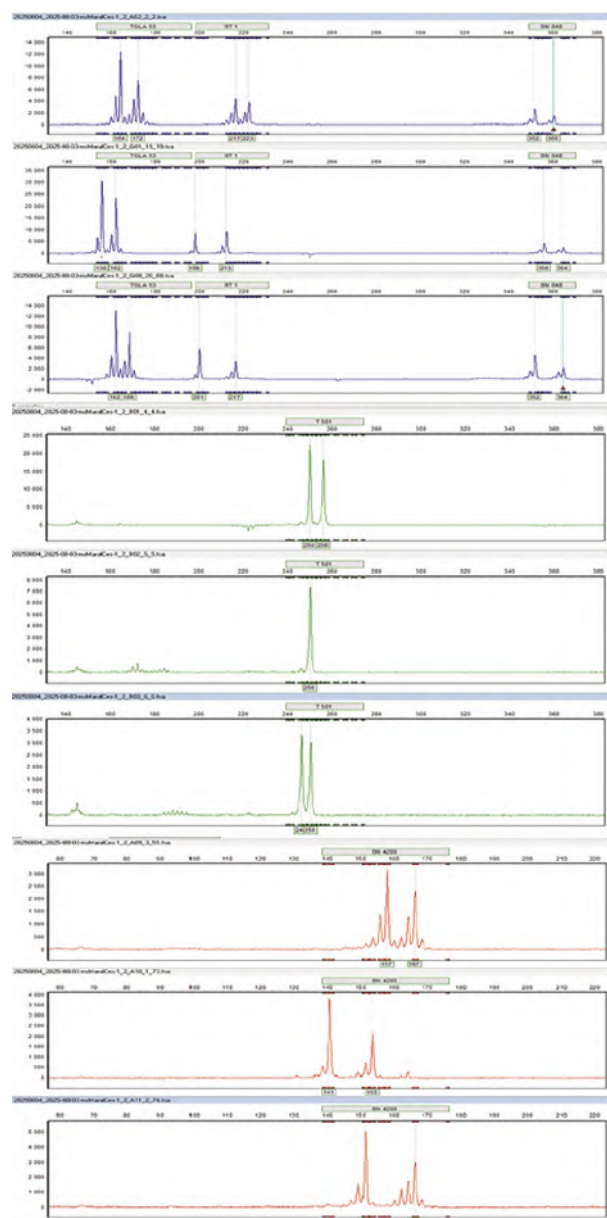


Таблица 3. Оценка информативности STR-маркеров для исследуемой выборки маралов.

Table 3. Evaluation of the informativeness of STR markers for the studied sample of marals.

Наименование локуса	Среднее число аллелей на локус (N_A)	Эффективное число аллелей на локус (N_E)	Наблюдаемая гетерозиготность (H_O)	Ожидаемая гетерозиготность (H_E)	Индекс фиксации (F_{IS})
Haut14	13	7,826	0,867	0,872	0,006
BM4107	10	5,445	0,871	0,816	-0,067
BL42	4	2,438	0,690	0,590	-0,169
C229	4	2,806	0,613	0,644	0,048
BM888	10	4,995	0,906	0,800	-0,133
BMC1009	6	3,626	0,903	0,724	-0,247
CSSM19	9	4,688	0,833	0,787	-0,059
BM1818	6	2,639	0,400	0,621	0,356
T26	12	6,950	0,700	0,856	0,182
TGLA53	13	6,180	0,677	0,838	0,192
RT1	8	4,676	0,742	0,786	0,056
BM848	4	2,007	0,400	0,502	0,203
T501	10	3,022	0,613	0,669	0,084
BM4208	6	4,388	0,806	0,772	-0,044

В результате анализа 14 микросателлитов на выборке маралов выявили 101 аллель. Наименее полиморфными оказались локусы BL42, C229, BM848 по 4 аллеля. Наибольший полиморфизм показали локусы Haut14 и TGLA53, в которых обнаружено 13 аллелей, и локус T26, в котором обнаружено 12 аллелей. У остальных локусов диапазон составил от 6 до 10 аллелей.

Значения эффективного числа аллелей на локус (нижняя оценка числа аллелей, одновременно присутствующих в популяции, при условии, что генетический дрейф и мутагенез уравновешены) варьировали от 2,007 в локусе BM848 до 7,826 в локусе Haut14.

Значения наблюдаемой гетерозиготности были выше 0,5 у 12 из 14 локусов. При этом все 14 локусов имеют значения ожидаемой гетерозиготности выше 0,5. Анализ индекса фиксации (FIS) выявил разнонаправленные значения для исследованных микросателлитных локусов: для 8 локусов наблюдался дефицит гетерозигот (от 0,006 до 0,356), тогда как для 6 локусов зафиксирован их избыток (-0,247 до -0,044). Среднее значение FIS по всем локусам составило 0,029.

Наибольшей информативностью отличаются локусы Haut14, T26 и TGLA53, значения PIC которых превышают 0,8, что указывает на их высокую дискриминирующую способность и эффективность при анализе генетического разнообразия, установлении родства и идентификации особей. Высокий уровень полиморфизма данных локусов обусловлен, значительным числом аллелей и их относительно равномерным распределением в исследованной выборке маралов. Оценка криминалистических параметров проведена в таблице 4.

Тринадцать локусов демонстрируют значения PIC выше 0,5, что позволяет классифицировать их

Таблица 4. Криминалистические параметры локусов тест-системы для идентификации особей маралов.

Table 4. Forensic parameters of the test system loci for identifying maral individuals.

Наименование локуса	Полиморфное информационное содержание (PIC)	Дискриминирующая способность (PD)	Комбинированная дискриминирующая способность (CPD)*, %
Haut14	0,861	0,972	94,000000
BM4107	0,794	0,944	99,832000
BL42	0,530	0,772	99,962304
C229	0,576	0,805	99,992668
BM888	0,774	0,934	99,999516
BMC1009	0,682	0,882	99,999943
CSSM19	0,761	0,929	99,999996
BM1818	0,550	0,786	99,9999991
T26	0,841	0,964	99,99999997
TGLA53	0,820	0,956	99,999999999
RT1	0,754	0,922	99,999999999
BM848	0,452	0,702	99,9999999997
T501	0,650	0,872	99,99999999996
BM4208	0,737	0,913	99,999999999996

Примечание: * Расчет нарастающим шагом

как высокоинформативные. Локус BM848 со значением PIC 0,452 относится к категории среднеинформативных маркеров. Пониженная информативность этого локуса, вероятно, связана с наличием одного доминирующего аллеля с высокой частотой, что снижает его разрешающую способность при дифференциации особей.

Дискриминирующая способность (PD) характеризует вероятность различия генотипов двух случайных особей, при этом более высокие значения данного показателя свидетельствуют о большей информативности локуса. Значения PD у всех локусов были на высоком уровне: минимальное значение выявлено у локуса BM848 (0,702), максимальное — у локуса Haut14 (0,972). Совокупный дискриминирующий потенциал тест-системы составил 99,9999999999996%.

Оценка генеалогических свойств разработанной тест-системы мультиплексного генотипирования STR-маркеров марала представлена в таблице 5.

Как следует из данных таблицы 4, вероятность совпадения генотипа одного индивидуума с генотипом другого индивидуума составила $3,32 \cdot 10^{-15}$, что означает 1 к 301,2 триллиону особей, т.е. практически исключена. Точность подтверждения происхождения по обоим родителям (P1X) составила 99,99%; точность подтверждения происхождения по одному родителю (P2X) составила 99,88%; точность исключения обоих родителей (P3X) составила 99,99%, что говорит об исключительной информативности разработанной тест-системы анализа полиморфизма маралов для контроля достоверности происхождения (паспортизации) племенных особей.

В таблице 6 представлено сравнение литературных данных по микросателлитным локусам с данными, полученными в ходе исследований.

Таблица 5. Результаты оценки возможности применения разработанной тест-системы мультиплексного генотипирования STR-маркеров для генетической экспертизы (паспортизации) маралов.

Table 5. Results of the assessment of the possibility of using the developed test system for multiplex genotyping of STR markers for genetic examination (passportization) of marals.

Параметр	Результаты оценки разработанной тест-системы анализа полиморфизма 14 локусов для генетической экспертизы (паспортизации) маралов
Вероятность совпадения генотипов индивидуума (PI)	$3,32 \cdot 10^{-15}$
Точность подтверждения происхождения по обоим родителям (P1X, %)	99,99
Точность подтверждения происхождения по одному родителю (P2X, %)	99,88
Точность исключения обоих родителей (P3X, %)	99,99

В ходе исследования установлено, что по ряду локусов наблюдается существенное расширение аллельного разнообразия в выборке марала. Наиболее показательным в этом отношении является locus CSSM19, для которого число выявленных аллелей (9) превышает максимальные литературные данные (5,7,8). Аналогичная тенденция отмечена для локусов BM4107 и BM888, где обнаружено по 10 аллелей соответственно против 9 и 8 по литературным источникам. Полученные данные свидетельствуют о высоком уровне генетического полиморфизма исследованной группы маралов и могут отражать популяционные особенности подвида.

Некоторые локусы, напротив, продемонстрировали сниженное аллельное разнообразие в выборке марала по сравнению с литературными данными. Для локусов Haut14, BL42, C229 и BM848 отмечено меньшее число детектируемых аллелей (13, 4, 4 и 4 против 18, 6, 7 и 5 соответственно), что может объясняться как ограниченным объемом выборки, так и эффектом генетического дрейфа в исследованной группе животных.

Анализ диапазонов длин аллелей также выявил межвидовые различия. Для локуса TGLA53 характерно смещение аллельного спектра в область более крупных фрагментов (156–194 п.н. против 132–176 п.н.), тогда как для локуса RT1 наблюдается противоположная тенденция — сдвиг в сторону меньших длин (201–225 п.н. против 212–232 п.н.). Подобные различия фрагментных длин аллелей могут быть обусловлены видоспецифическими особенностями организации микросателлитных повторов либо различиями в эволюционной истории сравниваемых таксонов.

В ходе работы, посвященной разработке STR-панели для проведения генетической экспертизы маралов, было исследовано 30 STR-маркеров. В результате 8 микросателлитных локусов (BM757, INRA11, ETH225, ILSTS06, INRA35, BM6506, VN110 и (C)SPS115) были исключены в связи с наличием неспецифических фрагментов, что, вероятнее всего, связано с наличием

Таблица 6. Характеристика STR-маркеров по литературным и собственным данным.

Table 6. Characteristics of STR markers based on literary and own data.

Наименование локуса	Диапазон длин по литературным данным	Число аллелей на locus по литературным данным	Диапазон длин по собственным данным	Флуоресцентная метка по собственным данным	Число аллелей на locus по собственным данным
Haut14	104-136	18 [1] 18 [12] 15 [15] 14 [19]	109-139	FAM	13
BM4107	153-179	9 [13] 4 [1] 5 [18]	153-179	FAM	10
BL42	248-264	6 [13] 4 [21]	245-257	FAM	4
C229	303-311	7 [15] 7 [16] 6 [17]	301-311	FAM	4
BM888	179-185	8 [14] 5 [13]	183-205	R6G	10
BMC1009	272-284	6 [13] 7 [21]	277-293	R6G	6
CSSM19	133-169	5 [1] 8 [12] 7 [20]	137-169	ROX	9
BM1818	233-255	4 [21] 8 [12] 7 [15] 4 [1] 14 [20]	240-256	ROX	6
T26	315-369	8 [16] 15 [20]	317-375	ROX	12
TGLA53	132-176	22 [20]	156-194	FAM	13
RT1	212-232	9 [13] 17 [20]	201-225	FAM	8
BM848	355-367	5 [21]	352-364	FAM	4
T501	241-265	8 [16] 11 [17] 14 [20]	242-270	R6G	10
BM4208	142-164	10 [13] 8 [14]	141-167	ROX	6

в геноме маралов похожих участков нуклеотидных последовательностей, на которых отжигаются праймеры.

Шесть STR-маркеров (MM12, CSSM14, CSSM22, T193, BM5004, BM203) в результате амплификации на маралах показали низкую полиморфность (от 2-3). При этом достаточным уровнем полиморфизма является 4 аллеля на locus [22]. В работе Кюхена Р. (Kuehn, R.) [12] посвященной изучению генетической структуры баварской популяции благородного оленя с помощью STR-маркеров, locus CSSM14 также оказался низкоинформативным (3 аллеля), однако в локусах MM12, CSSM22 было идентифицировано по 4 аллеля.

Несмотря на низкий уровень вариаций аллелей на locus маркера T193 (2 аллеля) в исследовании, Франк К. (Frank, K.) [16] с соавторами получил совсем иные результаты. В работе по изучению генетической структуры карпатской популяции благородного оленя с помощью 10 STR-маркеров locus T193 показал наличие 18 аллельных вариантов, что свидетельствует о структурной генетической дифференциации данного локуса у западных представителей благородного оленя.

В работе Пользин Р. (Polziehn R.) с соавторами [13] были проанализированы популяции вапити (*Cervus elaphus*) с использованием 12 STR маркеров, в числе которых были BM5004 и BM203, используемые также в данной работе. Подтверждена низкая информативность локуса BM5004, который у вапити, как и у марала, характеризовался ограниченным числом аллелей (3). В то же время по локусу BM203 зафиксированы отличия: 8 аллелей у вапити против 2 у марала, что может свидетельствовать о значительной дифференциации аллелофонда исследованных групп. Данное расхождение указывает на необходимость верификации информативности локуса BM203 на более широкой выборке, включающей западные подвиды благородного оленя.

Помимо попытки авторов создать тест-систему для контроля достоверности происхождения маралов, в 2014 году коллегия авторов совместно с Szabolcsi Z [17] разработала тест-систему идентификации венгерских представителей благородного оленя, основанную на двух мультиплексах содержащей по 5 STR-маркеров, меченых тремя флуоресцентными метками. Максимальная длина фрагмента в разработанной STR-панели составляет 254 п.о. у локуса C01, при этом в качестве стандарта был выбран GeneScan-500 LIZ, что позволяет детектировать до 500 п.о., в соответствии с этим более 200 баз при прохождении электрофореза у данных авторов остаются не заполненными. С этой точки зрения, данную панель возможно модернизировать добавлением новых маркеров, имеющих диапазон длин от свыше 270 п.о. В STR-панели данной работы удалось совместить 14 STR-маркеров в двух мультиплексах, используя также 3 флуоресцентные метки, однако максимальная длина фрагмента составила 375 п.о. при использовании размерного стандарта SD-450, тем самым практически вся размерная линейка полностью задействована в детекции аллельных вариантов STR-маркеров. Касаясь возможности использования разработанных тест-систем для генетической экспертизы, а именно установления родства, вероятность совпадения генотипов индивидуума в тест-системе венгерских благородных оленей — 1 к 374 триллионам, в то время как для маралов она составляет 1 к 301,2 триллиону, тем самым обе системы практически исключают возможность совпадения генотипов, точность исключения обоих родителей для двух тест-систем составила выше 99%, что говорит о высокой информативности разработанных STR-панелей.

Полученные в настоящем исследовании высокие показатели достоверности происхождения ($P1X = 99,99\%$; $P2X = 99,88\%$; $P3X = 99,99\%$) свидетельствуют о высокой разрешающей способности разработанной тест-системы. Данные значения согласуются с результатами, представленными в работе Жолная А. (Zsolnai, A.) с соавторами [23], где для панели из девяти STR-локусов благородного оленя вероятность исключения

при установлении родства по одному родителю составила 99,6%. Полученное значение совокупного дискриминирующего потенциала разработанной тест-системы (99,9999999999996%) сопоставимо с данными Недзвецкой Д.Э. [24], где для тест-системы у лося этот показатель также достиг порога 99,999999999999%. Помимо этого, в разработанной STR-панели тринадцать локусов имели показатель PIC выше 0,5, что говорит о высокоинформативности данных локусов, а локус BM848 является среднеинформативным (PIC 0,452). Авторы работы [25] подразделяют локусы по степени их пригодности для криминалистического анализа на три группы: высокоинформативные (PIC > 0,50), среднеинформативные (PIC от 0,25 до 0,50) и неинформативные (PIC < 0,25).

Выводы/Conclusion

Разработанная первая стандартизированная отечественная мультиплексная тест-система на основе 14 STR-маркеров обладает высокой информативностью. Установлено, что 13 из 14 локусов характеризуются высоким уровнем полиморфизма (PIC > 0,5), при этом максимальная информативность отмечена для маркеров Haut14, T26 и TGLA53. Локус BM848 (PIC = 0,452) отнесен к категории среднеинформативных, что не снижает общей эффективности панели. Дискриминирующая способность отдельных локусов варьирует от 0,702 до 0,972, а комбинированная дискриминирующая способность (CPD) всей панели составляет 99,9999999999996 %, при этом вероятность совпадения индивидуумов (PI) $3,32 \cdot 10^{-15}$, что подтверждает исключительно высокую идентификационную способность разработанной тест-системы. Генеалогические параметры ($P1X = 99,99\%$, $P2X = 99,88\%$, $P3X = 99,99\%$) подтверждают надежность системы для установления родственных связей, включая подтверждение происхождения по обоим родителям, по одному родителю и исключение ложного родства. Данная высокоинформативная тест-система может использоваться для решения широкого круга задач в области животноводства, природоохранной деятельности и фундаментальной науки.

В сфере мараловодства тест-система может быть использована для генетической паспортизации поголовья, контроля достоверности происхождения и оптимизации селекционно-племенной работы. Внедрение ДНК-технологий позволит повысить точность ведения родословных, исключить ошибки при подборе родительских пар и, как следствие, сохранить ценный генофонд.

В контексте борьбы с браконьерством и проведения судебно-генетических экспертиз STR-панель может эффективно использоваться при расследовании случаев браконьерства. С ее помощью можно с высокой точностью идентифицировать биологические образцы, изъятые у подозреваемых, и устанавливать их принадлежность конкретному виду животных, что особенно

важно для доказательства незаконной добычи маралов.

Наконец, возможность применения в популяционно-генетических исследованиях открывает новые перспективы для уточнения таксономического статуса марала. Поскольку вопросы внутривидовой систематики благородного оленя (*Cervus elaphus*) до настоящего времени остаются дискуссионными,

сравнительный анализ аллелофонда марала с другими подвидами с использованием стандартизированной панели высокополиморфных маркеров позволит получить объективные данные о степени их генетической дифференциации и внести вклад в разрешение многолетних споров о филогенетическом положении марала в составе подвида благородных оленей.

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 при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках темы Государственного задания № FGGN-2024-0018

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment No. FGGN-2024-0018

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Golosova O.S. *et al.* Genetic Diversity of the Eastern Subspecies of Red Deer (*Cervus elaphus*) in Russia Revealed by mtDNA and Microsatellite Polymorphism. *Biology Bulletin Reviews*. 2023; 13(5): 482–494. <https://doi.org/10.1134/s2079086423050110>
- Бессонова Н.М., Петрусова Н.С., Мещеряков И.В. Особенности поведения Алтае-сайской породы маралов в условиях паркового содержания в ООО «Марал-Толусома». *Исследование живой природы Кыргызстана*. 2016; (1): 87–91. EDN CYRICO
- Лукашева М.А. Особенности нарушений природоохранного режима на территории Алтайского заповедника. *Биоразнообразие и устойчивое развитие*. 2023; 8(2): 36–46. EDN AJDVJG
- Никипелова А.К., Бардуков И.В., Никипелов В.И. Стандартизация анализа STR-маркеров у сибирского осетра (*Acipenser baerii*): разработка референсной системы контроля длин аллелей. *Ветеринария и кормление*. 2025; (5): 78–83. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-5-17>
- Волкова В.В., Харзинова В.Р., Ильина А.Э. Молекулярно-генетическая верификация, контроль достоверности происхождения и генетическая идентификация домашнего яка (*Bos grunniens*) на основе анализа микросателлитов. *Достижения науки и техники АПК*. 2025; 39(7): 67–72. EDN NWPCFE
- Никипелов В.И. и др. Разработка мультимаркерной STR-панели и оценка достоверности происхождения аквакультурной стерляди (*Acipenser ruthenus*). *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2024; (3): 273–283. EDN MWHOJQ
- Харзинова В.Р. и др. Разработка мультимаркерной панели микросателлитов для оценки достоверности происхождения и степени дифференциации популяций северного оленя *Rangifer tarandus*. *Сельскохозяйственная биология*. 2015; 50(6): 756–765. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.756rus>
- Бардуков Н.В., Никипелова А.К., Белоус А.А., Зиновьева Н.А. Разработка мультимаркерной панели микросателлитов для генетической паспортизации сибирского осетра (*Acipenser baerii*). *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(6): 1057–1067. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1057rus>
- Зиновьева Н.А. и др. Микросателлиты как инструмент для оценки динамики аллелофонда при создании приюточного типа среднерусской породы медоносной пчелы *Apis mellifera*. *Сельскохозяйственная биология*. 2011; 46(6): 75–79. EDN ONLDRV
- Цыб А.М., Бакоев Н.Ф. Микросателлитные локусы, используемые для оценки генетического разнообразия вида *Cervus elaphus* (обзор литературы). *Генетика и разведение животных*. 2025; (3): 51–63. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2025-3-51-63>
- Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*. 2012; 28(19): 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Kuehn R., Schroeder W., Pirchner F., Rottmann O. Genetic diversity, gene flow and drift in Bavarian red deer populations (*Cervus elaphus*). *Conservation Genetics*. 2003; 4(2): 157–166. <https://doi.org/10.1023/A:1023394707884>
- Polziehn R.O., Hamr J., Mallory F.F., Strobeck C. Microsatellite analysis of North American wapiti (*Cervus elaphus*) populations. *Molecular Ecology*. 2000; 9(10): 1561–1576. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2000.01033.x>
- Feulner P.G.D., Bielfeldt W., Zachos F.E., Bradvarovic J., Eckert I., Hartl G.B. Mitochondrial DNA and microsatellite analyses of the genetic status of the presumed subspecies *Cervus elaphus montanus* (Carpathian red deer). *Heredity*. 2004; 93(3): 299–306. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800504>
- Edelhoff H., Zachos F.E., Fickel J., Epps C.W., Balkenhol N. Genetic analysis of red deer (*Cervus elaphus*) administrative management units in a human-dominated landscape. *Conservation Genetics*. 2020; 21(2): 261–276. <https://doi.org/10.1007/s10592-020-01248-8>
- Frank K. *et al.* Genetic traces of dispersal and admixture in red deer (*Cervus elaphus*) populations from the Carpathian Basin. *European Journal of Wildlife Research*. 2022; 68(5): 55. <https://doi.org/10.1007/s10344-022-01602-w>
- Szabolcsi Z. *et al.* Constructing STR Multiplexes for Individual Identification of Hungarian Red Deer. *Journal of Forensic Sciences*. 2014; 59(4): 1090–1099. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12403>
- Zhang Q., Zeng Z.-G., Ji Y.-J., Zhang D.-X., Song Y.-L. Microsatellite variation in China's Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) and implications for their conservation. *Conservation Genetics*. 2008; 9(3): 507–514. <https://doi.org/10.1007/s10592-007-9359-2>
- Лубенникова М.В., Афанасьев В.А., Афанасьев К.А. Полиморфизм микросателлитных маркеров в шебалинской популяции маралов. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024; (1): 163–169. EDN UPQOEE

REFERENCES

- Golosova O.S. *et al.* Genetic Diversity of the Eastern Subspecies of Red Deer (*Cervus elaphus*) in Russia Revealed by mtDNA and Microsatellite Polymorphism. *Biology Bulletin Reviews*. 2023; 13(5): 482–494. <https://doi.org/10.1134/s2079086423050110>
- Bessonova N.M., Petruseva N.S., Meshcheryakov I.V. Peculiarities of the behavior of the Altai-Sayan breed of marals in the conditions of park content in LLC "Maral-Tolusoma". *Kyrgyzstan live nature research*. 2016; (1): 87–91 (in Russian). EDN CYRICO
- Lukasheva M.A. Features of violations of the nature protection regime on the territory of the Altai nature reserve. *Biodiversity and Sustainable Development*. 2023; 8(2): 36–46 (in Russian). EDN AJDVJG
- Nikipelova A.K., Bardukov I.V., Nikipelov V.I. Standardization of STR-markers analysis in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*): development of a reference system for allele length control. *Veterinaria i kormlenie*. 2025; (5): 78–83 (in Russian). <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-5-17>
- Volkova V.V., Kharzinova V.R., Il'ina A.E. Molecular genetic verification, validation of origin, and genetic identification of domestic yak (*Bos grunniens*) based on microsatellite analysis. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2025; 39(7): 67–72 (in Russian). EDN NWPCFE
- Nikipelov V.I. *et al.* Development of a multilocus str panel and assessment of the reliability of the origin of the aquaculture sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Proceedings of Nizhnevolskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2024; (3): 273–283 (in Russian). EDN MWHOJQ
- Kharzinova V.R. *et al.* Development of multiplex microsatellite panel to assess the parentage verification in and differentiation degree of reindeer populations (*Rangifer tarandus*). *Agricultural Biology*. 2015; 50(6): 756–765. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.756eng>
- Bardukov N.V., Nikipelova A.K., Belous A.A., Zinovieva N.A. Development of multiplex panel of microsatellites for genetic studies of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) bred in commercial aquaculture. *Agricultural Biology*. 2023; 58(6): 1057–1067. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1057eng>
- Zinovieva N.A. *et al.* Microsatellites as a tool for evaluation of allele pool dynamics when creation of Prioksky type of middle Russian honey bee. *Agricultural Biology*. 2011; 46(6): 75–79 (in Russian). EDN ONLDRV
- Tsyb A., Bakoev N. Application of microsatellite analysis in the study of the genetic diversity of the *Cervus elaphus* species. *Genetics and breeding of animals*. 2025; (3): 51–63 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2025-3-51-63>
- Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*. 2012; 28(19): 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Kuehn R., Schroeder W., Pirchner F., Rottmann O. Genetic diversity, gene flow and drift in Bavarian red deer populations (*Cervus elaphus*). *Conservation Genetics*. 2003; 4(2): 157–166. <https://doi.org/10.1023/A:1023394707884>
- Polziehn R.O., Hamr J., Mallory F.F., Strobeck C. Microsatellite analysis of North American wapiti (*Cervus elaphus*) populations. *Molecular Ecology*. 2000; 9(10): 1561–1576. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2000.01033.x>
- Feulner P.G.D., Bielfeldt W., Zachos F.E., Bradvarovic J., Eckert I., Hartl G.B. Mitochondrial DNA and microsatellite analyses of the genetic status of the presumed subspecies *Cervus elaphus montanus* (Carpathian red deer). *Heredity*. 2004; 93(3): 299–306. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800504>
- Edelhoff H., Zachos F.E., Fickel J., Epps C.W., Balkenhol N. Genetic analysis of red deer (*Cervus elaphus*) administrative management units in a human-dominated landscape. *Conservation Genetics*. 2020; 21(2): 261–276. <https://doi.org/10.1007/s10592-020-01248-8>
- Frank K. *et al.* Genetic traces of dispersal and admixture in red deer (*Cervus elaphus*) populations from the Carpathian Basin. *European Journal of Wildlife Research*. 2022; 68(5): 55. <https://doi.org/10.1007/s10344-022-01602-w>
- Szabolcsi Z. *et al.* Constructing STR Multiplexes for Individual Identification of Hungarian Red Deer. *Journal of Forensic Sciences*. 2014; 59(4): 1090–1099. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12403>
- Zhang Q., Zeng Z.-G., Ji Y.-J., Zhang D.-X., Song Y.-L. Microsatellite variation in China's Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) and implications for their conservation. *Conservation Genetics*. 2008; 9(3): 507–514. <https://doi.org/10.1007/s10592-007-9359-2>
- Lubennikova M.V., Afanasyev V.A., Afanasyev K.A. Polymorphism of microsatellite markers in shebala population of red deer. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024; (1): 163–169 (in Russian). EDN UPQOEE

20. Radko A., Zalewski D., Rubiś D., Szumiec A. Genetic Differentiation among 6 Populations of Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Poland Based on Microsatellite DNA Polymorphism. *Acta Biologica Hungarica*. 2014; 65(4): 414–427. <https://doi.org/10.1556/ABiol.65.2014.4.6>
21. Talbot J., Haigh J., Plante Y. A parentage evaluation test in North American Elk (Wapiti) using microsatellites of ovine and bovine origin. *Animal Genetics*. 1996; 27(2): 117–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.1996.tb00480.x>
22. Чесноков Ю.В., Артемьева А.М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия. *Сельскохозяйственная биология*. 2015; (5): 571–578. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.571rus>
23. Zsolnai A. et al. Development of eight-plex microsatellite PCR for parentage control in deer. *Archiv für Tierzucht*. 2009; 52(2): 143–149. <https://doi.org/10.5194/aab-52-143-2009>
24. Недзвецкая Д.Э., Котова С.А., Забавская Т.В., Рыбакова В.И., Гребенчук А.Е., Цыбовский И.С. Разработка микросателлитной панели для идентификации биологических образцов лоса (*Alces alces*) в судебно-экспертных исследованиях. *Экспериментальная биология и биотехнология*. 2022; (2): 27–36. <https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-2-27-36>
25. Botstein D., White R.L., Skolnick M., Davis R.W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics*. 1980; 32(3): 314–331.

ОБ АВТОРАХ

Антон Михайлович Цыб

аспирант
senior.tsyb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4054-120X>

Вероника Руслановна Харзинова

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
veronika0784@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8067-0404>

Некруз Фарходович Бакоев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
nekruz82@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0324-3580>

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
п. Дубровицы, д. 60, г.о. Подольск Московской обл.,
142132 Россия

20. Radko A., Zalewski D., Rubiś D., Szumiec A. Genetic Differentiation among 6 Populations of Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Poland Based on Microsatellite DNA Polymorphism. *Acta Biologica Hungarica*. 2014; 65(4): 414–427. <https://doi.org/10.1556/ABiol.65.2014.4.6>
21. Talbot J., Haigh J., Plante Y. A parentage evaluation test in North American Elk (Wapiti) using microsatellites of ovine and bovine origin. *Animal Genetics*. 1996; 27(2): 117–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.1996.tb00480.x>
22. Chesnokov Yu.V., Artemyeva A.M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. *Agricultural Biology*. 2015; (5): 571–578. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.571eng>
23. Zsolnai A. et al. Development of eight-plex microsatellite PCR for parentage control in deer. *Archives of Animal Breeding*. 2009; 52(2): 143–149. <https://doi.org/10.5194/aab-52-143-2009>
24. Nedzvedskaya D.E., Kotava S.A., Zabauskaya T.V., Rybakova V.I., Hrebanchuk A.Ya., Tsybovsky I.S. Development of a microsatellite panel for identification of biological samples of moose (*Alces alces*) in forensic research. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2022; (2): 27–36 (in Russian). <https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-2-27-36>
25. Botstein D., White R.L., Skolnick M., Davis R.W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics*. 1980; 32(3): 314–331.

ABOUT THE AUTHORS

Anton Mikhailovich Tsyb

Graduate Student
senior.tsyb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4054-120X>

Veronika Ruslanovna Kharzinova

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
veronika0784@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8067-0404>

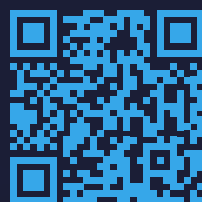
Nekruz Farkhodovich Bakoev

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
nekruz82@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0324-3580>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal
Husbandry,
60 Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132,
Russia



Подпишитесь на Telegram канал
ИД «Аграрная наука»



Еженедельно вы будете получать
свежие новости АПК
и сельского хозяйства,
анонсы отраслевых событий,
знакомитесь с результатами
научных исследований,
репортажами и интервью.



Оформите подписку на информационные
e-mail рассылки



Дважды в неделю на ваш e-mail ящик
будут приходить уведомления
о топовых событиях АПК,
аналитика, прогнозы,
приглашения на выставки
и конференции.

Через наши рассылки вы можете познакомиться
со своими товарами и услугами
потенциальных клиентов.

Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777-67-67
(доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru

УДК 633.16:633.1:581.1.045

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-114-118

В.Л. Газе ✉

И.А. Лобунская

Е.Ю. Черпакова

А.А. Донцова

Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Ростовская обл., Россия

✉ l.fiziologii@yandex.ru

Поступила в редакцию: 25.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.07.2026

Принята к публикации: 29.07.2026

© Газе В.Л., Лобунская И.А.,
Черпакова Е.Ю., Донцова А.А.

Оценка засухоустойчивости селекционного материала ярового ячменя по показателю остаточный водный дефицит

РЕЗЮМЕ

Одной из основных составляющих эффективного сельскохозяйственного производства является стабильность получения растениеводческой продукции. В условиях Ростовской области одним из факторов, ограничивающих урожайность сельхозкультур, являются климатические условия. Засуха — одно из разрушительных природных явлений, вызывающее гораздо большие потери урожая, чем любой другой абиотический стресс. Неравномерное распределение осадков за вегетационный период яровых культур и частые засухи, требуют создания продуктивных в засушливых условиях сортов. Целью исследований стало сравнительное изучение засухоустойчивости перспективных сортов и линий ярового ячменя по показателю водный дефицит, различающихся по продуктивности. В статье приведены результаты изучения 17 образцов ярового ячменя Конкурсного сортоиспытания в 2024–2025 гг. по оценке засухоустойчивости с использованием показателя остаточного водного дефицита вегетирующих растений. Опыты проведены в ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенном в регионе с нерегулярным увлажнением, что создает оптимальные условия для отбора генотипов, устойчивых к водному стрессу в естественных условиях засухи. В результате двухлетних испытаний выделены селекционные образцы: Зерноградский 1896, Зерноградский 1932, Зерноградский 1925, Зерноградский 1927, характеризующиеся высокой засухоустойчивостью с минимальными значениями ОВД в фазу цветения (5,87–7,54%) и незначительным его приростом (3,66–6,21%) к фазе молочной спелости (10,60–12,08%) и наибольшей урожайностью (5,2–5,6 т/га). Установлены достоверные корреляционные связи остаточного водного дефицита с урожайностью в фазу молочной спелости ($r = -0,78 \pm 0,16$) и с его приростом ($r = -0,70 \pm 0,18$). Результаты взаимосвязи между признаками показали, что признак остаточный водный дефицит может использоваться в качестве параметра отбора ценных генотипов для селекции на засухоустойчивость.

Ключевые слова: яровой ячмень, засухоустойчивость, остаточный водный дефицит, сорт, линия

Для цитирования: Газе В.Л., Лобунская И.А., Черпакова Е.Ю., Донцова А.А. Оценка засухоустойчивости селекционного материала ярового ячменя по показателю остаточный водный дефицит. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 114–118.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-114-118>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-114-118

Valentine L. Gaze ✉

Irina A. Lobunskaya

Elena Yu. Cherpakova

Alexandra A. Dontsova

Agricultural Research Center
“Donskoy”, Zernograd, Rostov region,
Russia

✉ l.fiziologii@yandex.ru

Received by the editorial office: 25.02.2026

Accepted in revised: 15.07.2026

Accepted for publication: 29.07.2026

© Gaze V.L., Lobunskaya I.A.,
Cherpakova E.Yu., Dontsova A.A.

Estimation of drought tolerance of spring barley breeding material according to the residual water deficit indicator

ABSTRACT

One of the key components of the efficient agricultural production is crop yield stability. In the Rostov Region, weather conditions are one of the factors limiting agricultural crop productivity. Drought is the most destructive natural phenomenon, causing far greater yield losses than any other abiotic stress. Uneven distribution of precipitation during a vegetation period of spring crops and frequent droughts requires development of varieties productive in arid conditions. The purpose of the current study was to compare drought tolerance of promising spring barley varieties and lines with different productivity levels, based on a water deficit indicator. The current paper has presented the study results of 17 spring barley samples of the Competitive Variety Testing in 2024–2025, according to the drought tolerance estimation using a residual water deficit indicator for vegetative plants. The trials were conducted at the FSBSI “ARC “Donskoy”, located in the region with irregular moisture, that created favorable conditions for selecting water stress resistant genotypes under natural aridity. Two years of testing have resulted in selecting the samples Zernogradskiy 1896, Zernogradskiy 1932, Zernogradskiy 1925, and Zernogradskiy 1927, which are characterized by high drought tolerance, minimal RWD values during flowering time (5.87–7.54%), and its slight increase (3.66–6.21%) by a milky ripeness phase (10.60–12.08%), and the largest productivity (5.2–5.6 t/ha). There have been identified reliable correlations between residual water deficit and productivity at the milky ripeness phase ($r = -0.78 \pm 0.16$) and its increase ($r = -0.70 \pm 0.18$). The results of the correlation analysis between the traits have shown that a residual water deficit can be used as a parameter to select valuable genotypes for drought tolerance breeding.

Key words: spring barley, drought tolerance, residual water deficit, variety, line

For citation: Gaze V.L., Lobunskaya I.A., Cherpakova E.Yu., Dontsova A.A. Estimation of drought tolerance of spring barley breeding material according to the residual water deficit indicator. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 114–118 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-114-118>

Введение/Introduction

Яровой ячмень является ведущей продовольственной, технической и кормовой культурой. В последние годы наблюдаются устойчивый рост температуры воздуха и уменьшение количества осадков в период вегетации яровых колосовых культур (апрель-июль) [1–5].

Засуха представляет собой серьезную проблему для сельского хозяйства, особенно в регионах с недостаточным увлажнением. Гидротермические условия являются важнейшим природным фактором, которые оказывают значительное влияние на рост и развитие растений, приводя к снижению урожайности ярового ячменя [6–8].

В условиях изменения климата проблема повышения засухоустойчивости сельскохозяйственных растений становится все более актуальной. В связи с этим существует необходимость проводить селекционную работу, направленную на выявление и создание сортов ярового ячменя, обладающих повышенной способностью противостоять стрессовым условиям с высокими показателями продуктивности и качества зерна [9–12].

Эффективность селекционной работы напрямую связана с применяемыми способами оценки засухоустойчивости, и выбор наиболее информативных показателей имеет определяющее значение [13–14]. Таким показателем является остаточный водный дефицит (ОВД) растений. В значительной степени устойчивость растений к засухе обусловлена их водным режимом. Чрезмерное испарение влаги растениями нарушает нормальный водный баланс, вызывая водный дефицит, который характеризует способность растений противостоять засухе [15].

Водный дефицит определяется как процентное соотношение объема воды, необходимого для достижения полной гидратации клеток, к общему объему воды при полном насыщении тканей. Он показывает, насколько обезвожены клетки растения в данный момент. Чем ниже показатель прироста ОВД, тем выше засухоустойчивость, так как растение способно эффективно удерживать воду даже при ограниченном ее поступлении из почвы [16–17].

Целью исследований стало сравнительное изучение засухоустойчивости перспективных сортов и линий ярового ячменя по показателю водный дефицит, различающихся по продуктивности.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования по изучению засухоустойчивости сортов и линий ярового ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» проведены в 2024–2025 гг. Объектом исследований являлись 17 перспективных линий, проходящих изучение в конкурсном

сортоиспытании. В качестве стандарта использовали сорт Формат. Сорт районирован в 2020 году, является стандартом на государственных сортоучастках Ростовской области. Имеет полевую устойчивость к основным болезням, высокую засухоустойчивость и жаростойкость. Адаптирован к усилению проявления засушливости климата последних лет, стабильно формирует высокую урожайность высококачественного зерна.

Полевые испытания осуществлялись на опытных полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Ростовская область) отдела селекции и семеноводства ячменя. Почва экспериментального участка представляет собой обыкновенный чернозем предкавказского типа, отличающийся карбонатностью, глинистостью и низким содержанием гумуса. Структура почвы — зернисто-комковатая. Предшественник — подсолнечник. Площадь каждой учетной деланки составляла 10 м², повторность опыта — шестикратная. Норма высева — 450 всхожих зерен на 1 м², стандартный сорт размещался через каждые 10 номеров. Посев проводился при достижении почвой физической спелости, а уборка урожая — в фазу полной спелости зерна.

Урожайность оценивали по Методике государственного сортоиспытания РФ¹ (2019).

Устойчивость к засухе оценивалась посредством анализа остаточного водного дефицита (ОВД) вегетирующих растений, в соответствии с методиками, предложенными Л.С. Литвиновым (1988)² и Удовенко Г.В. (1988)³. Отбор проб проводили в фазы цветения и молочной спелости зерна. Листья растений срезали рано утром, в полиэтиленовых пакетах переносили в лабораторию, взвешивали и помещали во влажную камеру для насыщения водой. Затем их снова взвешивали и по разности масс определяли количество поглощенной ими воды. Показатель прироста ОВД определялся как разница между значениями водного дефицита, зафиксированными в фазы цветения и молочной спелости зерна.

Метеорологические условия в годы проведения исследований значительно различались по температурному режиму и влагообеспеченности.

Погодные условия в период отбора проб (май–июнь) 2024 года характеризовались незначительным превышением среднемесячных температур воздуха в мае (16,9 °С) и июне (20,8 °С) относительно нормы (16,5 и 20,5 °С, соответственно) при недостаточном количестве осадков (27,0 мм и 9,0 мм), что ниже среднемноголетней нормы на 24,3–62,3 мм соответственно. Весенне-летний период 2025 года характеризовался незначительным превышением среднемесячной температуры воздуха по сравнению со среднемноголетними показателями (май — 17,2 при норме 16,5 °С и июнь — 21,1 при норме 20,5 °С) и нестабильным

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1: Общая часть. М.: «Группа Компаний Море», 2019. 385 с.

² Литвинов Л.С. Методы оценки засухоустойчивости // Семеноводство. 1988. № 6. С. 7–12.

³ Удовенко Г.В. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство). Л.: ВИР, 1988. 228 с.

распределением количества осадков (май — 53,0 при норме 51,3 мм и июнь — 107,0 при норме 71,3 мм), что оказало влияние на развитие ярового ячменя и формирование урожайности.

Математическая обработка полученных данных была выполнена по методике Б. А. Доспехова⁴ (2014) с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Устойчивость растений ярового ячменя к засухе определяется интенсивностью и длительностью засушливых условий, стадией вегетации и особенностями адаптационных реакций растения.

В ходе исследований 2024–2025 гг. проводилась оценка образцов по степени водного дефицита и динамике его нарастания. Так, изученные линии в 2024 году отличались по показателю остаточного водного дефицита в фазу цветения от 5,05 до 10,11% и в фазу молочной спелости зерна от 13,01 до 35,17%, что свидетельствует о разной степени адаптации к дефициту влаги. Однако значительного уменьшения уровня остаточного водного дефицита относительно стандарта Формат (6,32 и 15,33%) ни в одну из указанных фаз выявлено не было ($HCP_{05} = \pm 2,00$ и 4,75%).

Значения прироста остаточного водного дефицита у растений ячменя находились в диапазоне от 3,13 до 28,19%. Статистически подтвержденное снижение данного показателя по сравнению со стандартом Формат (9,01%) наблюдалось лишь у сорта Феникс (3,13%) и линий Зерноградский 1908 (3,81%), Зерноградский 1896 (4,22%), Зерноградский 1900 (4,54%) и Зерноградский 1901 (4,78%) ($HCP_{05} = \pm 4,03\%$). Низкие значения остаточного водного дефицита в фазу цветения (7,10–8,49%) и молочной зрелости зерна (13,60–14,30%), а также минимальный его прирост от фазы к фазе, по сравнению с сортом Формат, наблюдалось у линий Зерноградский 1901, Зерноградский 1932, Зерноградский 1927 и Зерноградский 1925 (табл. 1).

Остаточный водный дефицит в фазу цветения в 2025 году варьировал от 3,76 до 8,17%, тогда как в фазе молочной спелости зерна этот показатель был в пределах от 7,60 до 16,06%. Значительное уменьшение величины водного дефицита относительно стандарта Формат (6,58%) в фазе цветения зафиксировано у 10 образцов, а в фазе

молочной зрелости зерна у 4 образцов: Зерноградский 1932, Зерноградский 1896, Зерноградский 1763, Зерноградский 1927 ($HCP_{05} = \pm 0,75$ и 1,72%).

По показателю прироста ОВД среди образцов достоверное снижение по сравнению со стандартом Формат (4,04%) отмечена у линий Зерноградский 1904 (1,52%) и Зерноградский 1763 (1,53%) ($HCP_{05} = \pm 1,61\%$). Наименьшее значения ОВД в фазу цветения и молочной спелости зерна, а также минимальный прирост от фазы к фазе, по сравнению со стандартом Формат, были отмечены у образцов Зерноградский 1763, Зерноградский 1932, Зерноградский 1896, Зерноградский 1925 и Зерноградский 1927.

В среднем за 2024–2025 гг. показатели остаточного водного дефицита в фазе цветения составили от 4,57 до 8,31%, а в фазе молочной спелости зерна — от 10,60 до 24,67%. Достоверное снижение значения остаточного водного дефицита по сравнению со стандартом Формат (6,45 и 12,97 %) отмечено лишь у линии Зерноградский 1911 (4,57%) в фазе цветения, в то время как в фазе молочной спелости разницы не выявлено ($HCP_{05} = \pm 1,12$ и 2,49%).

Наименьший прирост влаги в листьях по сравнению со стандартом Формат (6,53%) отмечен у образцов Зерноградский 1896 (3,66%), Зерноградский 1932 (4,52%), Зерноградский 1927 (5,61%), Зерноградский 1908 (5,65%), Зерноградский 1900

Таблица 1. Изменение остаточного водного дефицита листьев ярового ячменя (2024–2025 гг.)

Table 1. Change in residual water deficit of spring barley leaves (2024–2025)

№ п/п	Образец	Остаточный водный дефицит, %								
		Фаза цветения	Фаза молочная спелость	Прирост ОВД	Фаза цветения	Фаза молочная спелость	Прирост ОВД	Фаза цветения	Фаза молочная спелость	Прирост ОВД
		2024			2025			Среднее по годам		
1	Формат, st	6,32	15,33	9,01	6,58	10,62	4,04	6,45	12,97	6,53
2	Феникс	9,88	13,01	3,13	6,74	16,06	9,32	8,31	14,53	6,23
3	Зерноградский 1896	10,02	14,24	4,22	5,06	8,06	3,00	7,54	11,20	3,66
4	Зерноградский 1900	9,31	13,85	4,54	3,76	11,52	7,76	6,53	12,68	6,15
5	Зерноградский 1901	8,49	13,26	4,78	6,60	14,33	7,73	7,54	13,79	6,25
6	Зерноградский 1875	6,99	35,17	28,19	8,17	14,18	6,01	7,58	24,67	17,10
7	Зерноградский 1763	8,26	20,73	12,47	6,65	8,18	1,53	7,45	14,45	7,00
8	Зерноградский 1825	5,72	24,36	18,64	5,93	9,65	3,72	5,82	17,00	11,18
9	Зерноградский 1904	6,23	23,90	17,68	7,53	9,05	1,52	6,88	16,47	9,60
10	Зерноградский 1908	10,11	13,92	3,81	5,21	12,70	7,49	7,66	13,31	5,65
11	Зерноградский 1910	7,34	18,27	10,94	6,13	11,15	5,02	6,73	14,71	7,98
12	Зерноградский 1911	5,05	24,73	19,68	4,09	13,58	9,49	4,57	19,16	14,6
13	Зерноградский 1912	7,41	15,74	8,33	4,52	9,63	5,11	5,96	12,69	6,72
14	Зерноградский 1921	9,44	20,12	10,68	4,13	10,09	5,96	6,78	15,10	8,32
15	Зерноградский 1925	7,30	14,09	6,79	4,44	10,06	5,62	5,87	12,08	6,21
16	Зерноградский 1927	7,73	14,30	6,58	4,15	8,79	4,64	5,94	11,55	5,61
17	Зерноградский 1932	7,10	13,60	6,50	5,06	7,60	2,54	6,08	10,60	4,52
	HCP_{05}	2,00	4,75	4,03	0,75	1,72	1,61	1,12	2,49	2,23

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): 5-е изд., доп. и перераб. М.: Книга по требованию, 2014. 352 с.

(6,15%), Зерноградский 1925 (6,21%), Феникс (6,23%) и Зерноградский 1901 (6,25%), которые имели минимальные значения ОВД в фазы цветения и молочной спелости зерна ($HCP_{05} = \pm 2,23\%$).

Выявленные перспективные линии могут быть использованы как исходный материал для селекции засухоустойчивых сортов ярового ячменя.

Показатель остаточного водного дефицита отражает степень недостатка влаги в почве на поздних стадиях роста и развития растений, что существенно влияет на формирование урожая. Оценка сортовых особенностей развития в полевых условиях показала, что в 2024 году урожайность образцов варьировала от 2,9 т/га (Зерноградский 1875) до 4,0 т/га (Зерноградский 1925 и Зерноградский 1932) (табл. 2).

Значимой разницы в урожайности по сравнению со стандартом Формат (3,8 т/га) не выявлено ($HCP_{05} = 0,2$ т/га). Урожайность 15 исследуемых образцов была на уровне стандарта. В 2025 году урожайность составила от 5,8 т/га (Зерноградский 1875) до 7,1 т/га (Зерноградский 1896 и Зерноградский 1925). Сорта Зерноградский 1896 и Зерноградский 1925 (по 7,1 т/га), достоверно превысили стандарт Формат (6,6 т/га) с прибавкой урожайности в 0,5 т/га ($HCP_{05} = 0,3$ т/га).

По итогам двухлетних исследований сорт Зерноградский 1925 (5,6 т/га) продемонстрировал достоверно высокую урожайность, превышающую стандарт на 0,4 т/га.

Проведен корреляционный анализ для выявления взаимосвязи между урожайностью и ОВД (табл. 3).

При определении взаимосвязи прослеживается отрицательная зависимость. Согласно классификации коэффициента корреляции, между признаками ОВД и урожайностью в 2024 г. отмечена сильная отрицательная связь в фазу молочной спелости ($r = -0,73 \pm 0,18$) и средняя с его приростом ($r = -0,64 \pm 0,20$), а в 2025 г. — средняя ($r = -0,40 \pm 0,24$) и слабая ($r = -0,16 \pm 0,25$) соответственно. По результатам анализа в среднем за 2024–2025 гг. были выявлены отрицательные взаимосвязи: слабая между урожайностью и ОВД в фазу цветения ($r = -0,23 \pm 0,25$), сильная с ОВД в фазу молочной спелости ($r = -0,78 \pm 0,16$) и с приростом ОВД ($r = -0,70 \pm 0,18$).

Поэтому остаточный водный дефицит характеризует один из механизмов адаптации — способность противостоять обезвоживанию, служит критерием для диагностики и создания засухоустойчивых сортов с высокой продуктивностью.

Выводы/Conclusion

За период 2024–2025 гг. высокий уровень засухоустойчивости отмечен у образцов: Зерноградский 1896, Зерноградский 1932, Зерноградский 1927, Зерноградский 1908, Зерноградский 1900, Феникс и Зерноградский 1901, с низкими значениями ОВД в фазу цветения (5,94–8,61%) и незначительным его приростом (3,66–6,25%) в

Таблица 2. Урожайность образцов ярового ячменя (2024–2025 гг.)

Table 2. Productivity of spring barley samples (2024–2025)

№ п/п	Образец	Урожайность, т/га			± к стандарту
		2024 г.	2025 г.	Среднее по годам	
1	Формат, st	3,8	6,6	5,2	–
2	Феникс	3,9	6,6	5,3	+0,1
3	Зерноградский 1896	3,8	7,1*	5,5	+0,3
4	Зерноградский 1900	3,6	6,7	5,2	0,0
5	Зерноградский 1901	3,7	6,5	5,1	-0,1
6	Зерноградский 1875	2,9	5,8	4,4	-0,8
7	Зерноградский 1763	3,7	6,5	5,1	-0,1
8	Зерноградский 1825	3,9	6,6	5,3	+0,1
9	Зерноградский 1904	3,7	6,2	5,0	-0,2
10	Зерноградский 1908	3,9	6,1	5,0	-0,2
11	Зерноградский 1910	3,6	6,4	5,0	-0,2
12	Зерноградский 1911	3,6	6,5	5,1	-0,1
13	Зерноградский 1912	3,7	6,4	5,1	-0,1
14	Зерноградский 1921	3,3	6,2	4,8	-0,4
15	Зерноградский 1925	4,0	7,1*	5,6*	+0,4
16	Зерноградский 1927	3,8	6,6	5,2	0,0
17	Зерноградский 1932	4,0	6,9	5,5	+0,3
	HCP_{05}	0,2	0,3	–	

Примечание. * Достоверное превышение стандартного сорта ($p \leq 0,05$).

Таблица 3. Корреляционный анализ связи урожайности с остаточным водным дефицитом (2024–2025 гг.)

Table 3. Analysis of correlation between productivity and residual water deficit (2024–2025)

Признак	Показатель	ОВД в фазу цветения, %	ОВД в фазу молочной спелости, %	Прирост ОВД, %
Урожайность, т/га	2024 г.	-0,05	-0,73*	-0,64*
	2025 г.	-0,45	-0,40	-0,16
	среднее по годам	-0,23	-0,78*	-0,70*

Примечание. * значимы при $p \leq 0,05$.

процессе усиления засухи к фазе молочной спелости (10,60–14,53%).

В результате двухлетних испытаний достоверное превышение урожайности на 0,4 т/га в сравнении со стандартом отмечено у сорта Зерноградский 1925 (5,6 т/га).

Образцы Зерноградский 1896, Зерноградский 1932, Зерноградский 1925, Зерноградский 1927, характеризующиеся высокой устойчивостью к водному стрессу и наибольшей урожайностью, рекомендуется использовать как исходные формы для дальнейшей селекционной работы по выведению засухоустойчивых сортов ячменя.

Установлены достоверные взаимосвязи в среднем за 2024–2025 гг. остаточного водного дефицита с урожайностью в фазу молочной спелости ($r = 0,78 \pm 0,16$) и с его приростом ($r = -0,70 \pm 0,18$). Результаты взаимосвязи между признаками показали, что признак остаточный водный дефицит может использоваться в качестве параметра отбора ценных генотипов для селекции на засухоустойчивость.

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

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» по теме № FNFN-2025-0008.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» к засушливым условиям Ставропольского края. *Зерновое хозяйство России*. 2022; (4): 16–21. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21>
2. Забалуева Д.В., Сатарина З.Е., Ерошенко Л.М., Семенова Е.Ю. Влияние климатических факторов на урожайность ярового ячменя в условиях Владимирской области. *Владимирский земледельец*. 2024; (1): 56–61. <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2024-1107-56-61>
3. Брагин Р.Н., Филиппов Е.Г. Оценка показателей адаптивности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях изменчивости природной среды. *Зерновое хозяйство России*. 2022; (3): 18–24. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-18-24>
4. Левакова О.В., Гладышева О.В., Ерошенко Л.М. Хозяйственно ценные показатели ячменя Любояр. *Аграрная наука*. 2024; (4): 75–79. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79>
5. Засыпкина И.М. Оценка показателей стрессоустойчивости, стабильности и пластичности сортов озимого ячменя по массе 1000 зерен. *Аграрная наука*. 2025; (6): 119–125. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-119-125>
6. Смуров С.И., Григоров О.В., Ермолаев С.Н. Роль агрометеорологических условий в изменении урожайности ярового ячменя в лесостепной зоне Белгородской области. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(12): 1624–1635. EDN IAFFMH
7. Митрофанов Д.В., Ткачева Т.А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2021; (4): 84–97. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-09>
8. Очиллов З.А., Покровская М.Н. Засухо- и жароустойчивость сортообразцов мягкой пшеницы на богаре. *Аграрная наука*. 2020; (11–12): 60–62. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-60-62>
9. Смуров С.И., Григоров О.В., Ермолаев С.Н. Влияние изменений климата на урожайность культур и запасы почвенной влаги. *Аграрный вестник Урала*. 2023; (6): 35–52. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52>
10. Николаев П.Н., Юсова О.А. Стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях Западной Сибири. *Таврический вестник аграрной науки*. 2020; (4): 135–142. EDN UXTTXX
11. Николаев М.В. Климатические изменения и ведение полеводства в зоне осушаемых земель Европейского Черноземья России: уязвимость и адаптация. *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(1): 60–74. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.60rus>
12. Рябцева Н.А. Влияние климатических факторов на действие регуляторов роста в агроценозах ярового ячменя. *Аграрная наука*. 2024; (10): 117–121. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-117-121>
13. Кривошеев Г.Я., Шевченко Н.А. Устойчивость к водному стрессу новых самоопыляемых линий и гибридов кукурузы. *Зерновое хозяйство России*. 2021; (5): 46–50. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50>
14. Газе В.Л., Лобунская И.А., Черпакова Е.Ю., Яновская Н.В., Кривошеев Г.Я. Остаточный водный дефицит как один из критериев оценки засухоустойчивости линий и гибридов кукурузы. *Зерновое хозяйство России*. 2025; 17(2): 20–25. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-97-2-20-25>
15. Кривошеев Г.Я., Игнатиев А.С., Шевченко Н.А., Газе В.Л., Лобунская И.А. Оценка засухоустойчивости самоопыляемых линий кукурузы методом остаточного водного дефицита. *Аграрная наука*. 2025; (9): 82–89. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89>
16. Анисимова Н.Н., Ионова Е.В. Остаточный водный дефицит растений ярового ячменя, как один из показателей засухоустойчивости. *Зерновое хозяйство России*. 2015; (6): 71–78. EDN VHWZVD
17. Лиховидова В.А., Ионова Е.В. Влияние засушливых условий выращивания на водный дефицит и содержание хлорофилла сортов озимой твердой пшеницы, различающихся по продуктивности. *Аграрная наука*. 2020; (5): 72–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>

ОБ АВТОРАХ

Валентина Леонидовна Газе

младший научный сотрудник
l.fiziologii@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4618-6125>

Ирина Алексеевна Лобунская

младший научный сотрудник
lobunskaya95@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1537-8498>

Елена Юрьевна Черпакова

младший научный сотрудник
elena123089@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6268-7915>

Александра Александровна Донцова

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
doncova601@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6570-4303>

Аграрный научный центр «Донской»,
ул. Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская обл.,
347740, Россия

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 with the support of the Russian Ministry of Education and Science as part of the State Assignment of the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" № FNFN-2025-0008.

REFERENCES

1. Morozov N.A., Samsonov I.V., Pankratova N.A. Estimation of spring barley adaptability to the aridity of the Stavropol Territory according to the trait '1000-grain weight'. *Grain Economy of Russia*. 2022; (4): 16–21 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21>
2. Zabalueva D.V., Satarina Z.E., Eroshenko L.M., Semenova E.Yu. Impact of climatic factors on the yielding capacity of spring barley in the conditions of Vladimir oblast. *Vladimir agriculturalist*. 2024; (1): 56–61 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2024-1107-56-61>
3. Bragin R.N., Filippov E.G. Estimation of adaptability indicators of the spring barley varieties according to their productivity under environmental variability. *Grain Economy of Russia*. 2022; (3): 18–24 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-18-24>
4. Levakova O.V., Gladysheva O.V., Eroshenko L.M. Economically valuable indicators of Lyuboyar barley. *Agrarian science*. 2024; (4): 75–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79>
5. Zasyapkina I.M. Estimation of stress resistance, stability and adaptability indicators of the winter barley varieties according to 1000-grain weight. *Agrarian science*. 2025; (6): 119–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-119-125>
6. Smurov S.I., Grigorov O.V., Ermolaev S.N. The role of agrometeorological conditions in changing the yield of spring barley in the forest-steppe zone of the Belgorod region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(12): 1624–1635 (in Russian). EDN IAFFMH
7. Mitrofanov D.V., Tkacheva T.A. The impact of agrometeorological conditions, mineral fertilizers, predecessors and soil moisture on the yield of spring barley grain in the steppe zone of the Southern Urals. *Proceedings of Nizhnevolskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2021; (4): 84–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-09>
8. Ochilov Z.A., Pokrovskaya M.N. Drought and heat tolerance of bread wheat varieties on rainfed. *Agrarian science*. 2020; (11–12): 60–62 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-60-62>
9. Smurov S.I., Grigorov O.V., Ermolaev S.N. The influence of climate change on crop yields and soil moisture reserves. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; (6): 35–52 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52>
10. Nikolaev P.N., Yusova O.A. Resistance of spring barley varieties bred by the Omsk Agrarian Scientific Center to stress under conditions of Western Siberia. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2020; (4): 135–142 (in Russian). EDN UXTTXX
11. Nikolaev M.V. The impact of climate change on crop farming in the drained lands of the European Non-Chernozem region of Russia: vulnerability and adaptation assessment. *Agricultural Biology*. 2023; 58(1): 60–74. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.60eng>
12. Ryabtseva N.A. The influence of climatic factors on the effect of growth regulators in agroecosystems of spring barley. *Agrarian science*. 2024; (10): 117–121 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-117-121>
13. Krivosheev G.Ya., Shevchenko N.A. Water stress resistance of the new self-pollinated maize lines and hybrids. *Grain Economy of Russia*. 2021; (5): 46–50 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50>
14. Gaze V.L., Lobunskaya I.A., Cherpakova E.Yu., Yanovskaya N.V., Krivosheev G.Ya. Residual water deficit as one of the criteria for estimating drought resistance of maize lines and hybrids. *Grain Economy of Russia*. 2025; 17(2): 20–25 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-97-2-20-25>
15. Krivosheev G.Ya., Ignatiev A.S., Shevchenko N.A., Gaze V.L., Lobunskaya I.A. Estimation of drought resistance of self-pollinated maize lines by the residual water deficit method. *Agrarian science*. 2025; (9): 82–89 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-82-89>
16. Anisimova N.N., Ionova E.V. Residual water deficit of spring barley plants, as one of the traits of drought tolerance. *Grain Economy of Russia*. 2015; (6): 71–78 (in Russian). EDN VHWZVD
17. Likhovidova V.A., Ionova E.V. The effect of arid growing conditions on water deficit and chlorophyll content of the winter wheat varieties with various productivity. *Agrarian science*. 2020; (5): 72–75 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>

ABOUT THE AUTHORS

Valentine Leonidovna Gaze

junior researcher
l.fiziologii@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4618-6125>

Irina Alekseevna Lobunskaya

junior researcher
lobunskaya95@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1537-8498>

Elena Yurievna Cherpakova

junior researcher
elena123089@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6268-7915>

Aleksandra Aleksandrovna Dontsova

Candidate of Agricultural Sciences,
leading researcher
doncova601@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6570-4303>

Agricultural Research Center "Donskoy",
3 Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740,
Russia

УДК 632.954

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-119-123

Т.С. Астарханова^{1, 2} ✉**Л.И. Алибалаева**³**А.В. Березнов**⁴¹Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия²Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Грозный, Россия³Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия⁴Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

✉ astarkhanova_ts@rudn.ru

Поступила в редакцию: 12.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.07.2026

Принята к публикации: 29.07.2026

© Астарханова Т.С., Алибалаева Л.И., Березнов А.В.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-119-123

Tamara S. Astarkhanova^{1, 2} ✉**Leila I. Alibalaeva**³**Alexey V. Bereznov**⁴¹Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia²Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia³Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia⁴D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, Moscow, Russia

✉ astarkhanova_ts@rudn.ru

Received by the editorial office: 12.02.2026

Accepted in revised: 15.07.2026

Accepted for publication: 29.07.2026

© Astarkhanova T.S., Alibalaeva L.I., Bereznov A.V.

Эффективность гербицида десиканта на зерновых культурах в условиях юга России

РЕЗЮМЕ

Зерновые культуры стратегически важны для России, повышение их урожайности остается главной задачей науки и производства. Снижение потерь урожая при десикации происходит за счет ускорения созревания и равномерного высушивания зеленой массы. Исследования проводились во II климатической зоне каштановых, лугово-каштановых почв Северо-Кавказского региона возделывания сельскохозяйственных культур на базе СПК «Правда» Хасавюртовского района в 2024–2025 гг. на яровой пшенице сорта Воронежский 12. Изучали новый десикант Парма, ВР (240 г/л глюфосината аммония) производства ООО «Шанс» в норме применения 1,0 л/га и 1,5 л/га. Приведены результаты трехлетних испытаний десикантов по влиянию их на влажность зерна и урожайность культуры. Установлено, что десикант Парма, ВР, применяемый в период полной биологической спелости, способствовал повышению урожайности на 8,6%, массы 1000 зерен и массы зерна с колоса на 4,0 и 0,19 г. По совокупности показателей (урожайность, масса 1000 зерен, масса зерна с колоса) не уступал десикантам – эталонам с контактным (Суховой, ВР) и системным действием (ГлиБест, ВР). Результаты изучения нового гербицида Парма, ВР в части оценки биологической эффективности могут быть использованы в процессе Государственной регистрации как перспективный гербицид десикант на пшенице яровой в исследованных нормах применения.

Ключевые слова: десикант, эффективность, норма применения, влажность, гербицид, глифосат, дикват, эталон

Для цитирования: Астарханова Т.С., Алибалаева Л.И., Березнов А.В. Эффективность гербицида десиканта на зерновых культурах в условиях юга России. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 119–123.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-119-123>

The effectiveness of a herbicide desiccant on grain crops in the South of Russia

ABSTRACT

Grain crops are a strategically important crop for Russia and increasing yields remains the main task of science and production. The reduction of crop losses during desiccation occurs due to accelerated ripening and uniform drying of the green mass. The research was carried out in the II climatic zone of chestnut, meadow–chestnut soils of the North Caucasus region of crop cultivation on the basis of the Pravda agricultural complex of the Khasavyurt district for 2024–2025 on spring wheat of the Voronezh 12 variety. A new desiccant Parma, BP (240 g/l ammonium glucosinate) produced by Chance LLC was studied at a rate of 1.0 l/ha and 1.5 l/ha. The results of 3-year tests of desiccants on their effect on grain moisture and crop yield are presented. It was found that the desiccant Parma, BP, used during the period of full biological ripeness contributed to an increase in yield by 8.6%, the weight of 1000 grains and the weight of grain from the ear by 4.0 and 0.19 g. In terms of the totality of indicators (yield, weight of 1000 grains, weight of grain per ear), it was not inferior to standard desiccants with contact (Sukhovoy, BP) and systemic action (GliBest, BP). The results of the study of the new herbicide Parma, BP in terms of assessing biological efficacy can be used in the process of State registration as a promising herbicide desiccant on spring wheat in the studied application standards.

Key words: desiccant, effectiveness, rate of use, humidity, herbicide, glyphosate, diquat, etalon

For citation: Astarkhanova T.S., Alibalaeva L.I., Bereznov A.V. Effectiveness of herbicide desiccant on grain crops in the conditions of Southern Russia. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 119–123 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-119-123>

Введение/Introduction

Актуальность проведенных исследований заключается в стратегическом значении пшеницы для обеспечения продовольственной безопасности страны и в повышении ее урожайности [1–3]. Условия юга России благоприятны для получения высоких и стабильных урожаев пшеницы, но высокая засоренность посевов дает культуре не в полной мере реализовать имеющийся потенциал [4–6]. Применение гербицидов приводит к сохранению урожая на 90% за счет ограничения популяций разных видов сорных растений [7–9]. В условиях изменяющегося климата осадки перед уборкой урожая провоцируют активный рост сорняков, возрастает опасность неравномерного созревания за счет недостаточной потери влажности зерном. Одним из резервов повышения валового сбора урожая является десикация, которая проводится за 10–15 дней до уборки урожая и при влажности не выше 30% [10–12]. Она обеспечивает качество и снижение потерь за счет ускорения созревания и равномерного высушивания зеленой массы и сорных растений [13–15]. В списке пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации по состоянию на 2025 г. зарегистрированы гербициды на основе таких действующих веществ, как изопропиламинная и калиевая соли глифосата кислоты и диквата, 2 десиканта на основе глюфосината аммония (ГлюфАгро, ВР, Мегатоплис, ВР), что является недостаточным для посевных площадей страны [16–18]. Десиканты на основе глюфосината аммония обладают контактным и системным действием, благодаря чему их эффективность выше десикантов с одним механизмом действия (системное действие у соли глифосата кислоты и контактное у диквата) [5, 19]. Совершенствование ассортимента применяемых гербицидов десикантов отечественного производства на пшенице, безопасных с экологической точки зрения и обладающих высокой биологической эффективностью против целевых объектов, послужило основанием проведения исследований.

Целью данной работы является разработка регламента применения нового гербицида на основе глюфосината аммония в качестве десиканта на яровой пшенице в условиях юга России, обеспечивающего качество и снижение потерь за счет ускорения созревания и равномерного высушивания зеленой массы и сорных растений.

Практическая значимость исследований — в расширении ассортимента десикантов, обеспечивающих качество зерна и повышение урожайности за счет снижения потерь.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводились во II климатической зоне каштановых, лугово-каштановых почв Северо-Кавказского региона возделывания

сельскохозяйственных культур на базе СПК «Правда» Хасавюртовского района в 2023–2025 гг. Местный климат характеризуется недостаточным увлажнением, жарким и сухим летом, умеренно холодной зимой со среднегодовой температурой воздуха +10,5 °С, среднегодовым количеством осадков 447 мм. Температура воздуха по годам исследований превосходила температурные показатели среднемноголетних наблюдений, наибольшее ее превышение было в 2025 году (+1,7 °С), наименьшее в 2023 году — +0,9 °С.

По количеству выпадающих осадков 2023 год был близок к климатической норме, превышение на 58–61% к среднемноголетним показателям отмечено в 2024–2025 гг., когда выпало 710–720 мм. Высокая температура воздуха и низкая влагообеспеченность в период созревания зерна в 2023 году способствовали раннему развитию зерновых культур и уборке урожая. Погодные условия опыта для зерновых 2024 и 2025 годов и обеспеченность температурой и осадками благоприятно отразились на росте и развитии растений.

Почвы опытных участков — лугово-каштановые, по гранулометрическому составу — средне- и тяжелосуглинистые. Содержание гумуса — 2,8%, pH — 8,2. По обеспеченности доступными формами азота, калия и фосфора почвы относятся к средне и сильно нуждающимся. Низкое содержание в пахотном слое почвы легкогидролизуемого азота (5,61 мг/100 г почвы), обменного калия (32,0 мг/100 г почвы) и подвижного фосфора (1,82 мг/100 г почвы). Размер опытных делянок — 25 м², размещение рандомизированное, количество повторностей — 4 при однократной обработке.

Материалом исследований служила пшеница яровая сорта Воронежская 12.

Десикацию в засушливом 2023 году проводили за 15 дней до уборки урожая в фазе «восковой спелости» при влажности 27,5–28,9%, во влажных 2024–2025 гг. — при 29,9–29,8%. В исследованиях применяли представленный для регистрационных испытаний новый десикант Парма, ВР (240 г/л глюфосината аммония) производства ООО «Шанс» (Россия), в норме применения 1,0 л/га и 1,5 л/га. В качестве эталона служили десиканты ГлиБест, ВР на основе глифосата в норме применения 3,0 л/га производства ООО «Союз-агрохим» (Россия), обладающий системным действием, и Сухолей, ВР на основе диквата, обладающий контактным действием, производства ЗАО Фирма «Август» в норме 2,0 л/га. Биологическую эффективность гербицидов определяли в соответствии с Методическими указаниями по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве (СПб., 2013)¹, массу 1000 зерен в соответствии с ГОСТ 10842-89². Влажность семян и пересчет влажности зерна на стандартную

¹ Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве (СПб., 2013)

² ГОСТ 10842-89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян

влажность с использованием коэффициента пересчета в соответствии с ГОСТ 13586.5-2015³.

Учет урожайности проводили прямым комбайнированием.

Результаты опыта были обработаны методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову⁴.

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

Наибольшее превышение температуры воздуха на +1,7 °С, при среднегодовой, соответствующей 10,5 °С отмечено в 2025 году, наименьшее — в 2023 году. Количество осадков выше среднесуточных показателей на 260–273 мм отмечено в 2024–2025 гг., что актуально при проведении десикации для выравнивания влажности зерновых. Влажность зерна перед обработкой в засушливом 2023 году варьировал в пределах 27,5–28,9%, в 2024–2025 гг. — 29,9–29,8%. На 7-е сутки после обработки средняя влажность зерна в норме 1,0 л/га составила 20,0%, в норме 1,5 л/га — 18,0%. Перед уборкой урожая средняя влажность зерна в первом и втором вариантах составила 14,5% и 12,5%, соответственно. В эталоне Суховой, ВР на основе диквата на 7-е сутки и перед уборкой урожая показатель соответствовал 19,4 и 14,0%, в эталоне ГлиБест, ВР на основе глифосата (изопропиламинная соль) на 7-е сутки и перед уборкой урожая показатель соответствовал 18,0 и 12,5%, в контроле — 26,5 и 22,8%.

В 2024 и 2025 годы влажность яровой пшеницы на 7-й день и к уборке урожая превышала данные 2023 года, это объясняется зависимостью урожайности зерновых культур от агроклиматических условий в период налива зерна. Снижение урожайности при десикации на яровой пшенице в 2023 году, вероятно, обусловлено тем, что процесс налива зерна не закончился, поэтому при определении сроков уборки правильнее ориентироваться на степень созревания зерна, его влажность. К уборке урожая в 2024–2025 гг. влажность зерна оставалась на уровне 18,5–19,1% и 16,5–17,1%, превышала данные 2023 года (табл. 1).

Такие элементы продуктивности, как масса 1000 зерен и масса зерна колоса яровой пшеницы, имели существенное различие по годам исследований и повышались во влажные 2-й и 3-й годы исследований (табл. 2).

Результатами исследований по оценке нового гербицида установлено улучшение качества и прибавка урожайности к контролю на 2,6–8,6% за счет снижения потерь, ускорения созревания и равномерного высушивания зеленой массы и сорных растений при обработке десикантом (табл. 3). Прибавка урожайности в вариантах с эталонами к контролю составляла 1,9% (контактный гербицид) и 6,4% (системный), что ниже испытываемого препарата на 0,7–2,2%.

Таблица 1. Влажность зерна пшеницы яровой сорта Воронежская 12 при использовании десиканта на основе глифосината аммония (240 г/л), ВР

Table 1. Grain moisture content of spring wheat variety Voronezhskaya 12 when using a desiccant based on ammonium glufosinate (240 g/l), VR

Варианты опыта	Влажность зерна, %		
	До обработки	7 день	К уборке
2023 год			
Парма, ВР (1,0 л/га)	28,0	20,0	14,5
Парма, ВР (1,5 л/га)	27,0	18,0	12,5
Суховой, ВР (эталон) 2,0 л/га	28,0	19,4	14,0
ГлиБест, ВР (эталон) 3,0 л/га	27,7	18,0	12,5
Контроль	28,0	26,5	22,8
2024 год			
Парма, ВР (1,0 л/га)	29,7	22,0	18,5
Парма, ВР (1,5 л/га)	29,5	20,0	16,5
Суховой, ВР (эталон) 2,0 л/га	29,0	21,9	17,7
ГлиБест, ВР (эталон) 3,0 л/га	29,7	24,5	16,9
Контроль	29,9	26,5	24,4
2025 год			
Парма, ВР (1,0 л/га)	29,2	21,0	19,1
Парма, ВР (1,5 л/га)	29,1	19,8	17,1
Суховой, ВР (эталон) 2,0 л/га	29,3	21,0	17,5
ГлиБест, ВР (эталон) 3,0 л/га	29,4	20,2	17,0
Контроль	29,8	26,1	24,0

Таблица 2. Влияние десиканта на основе глифосината аммония (240 г/л), ВР на элементы продуктивности яровой пшеницы

Table 2. Effect of an ammonium glufosinate-based desiccant (240 g/L) on the productivity elements of spring wheat

Варианты	Масса 1000 зерен, г	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна колоса, гр.
2023 год			
Парма, ВР (1,0 л/га)	43,0	20,6	0,72
Парма, ВР (1,5 л/га)	44,0	21,0	0,84
Суховой, ВР (эталон) 2,0 л/га	42,6	20,8	0,68
ГлиБест, ВР (эталон) 3,0 л/га	43,4	20,9	0,80
1. Контроль.	40,0	18,0	0,65
HCP ₀₅	1,96	1,45	0,08
2024 год			
Парма, ВР (1,0 л/га)	44,0	21,6	0,75
Парма, ВР (1,5 л/га)	45,0	22,0	0,83
Суховой, ВР (эталон) 2,0 л/га	43,6	20,8	0,71
ГлиБест, ВР (эталон) 3,0 л/га	44,8	21,8	0,81
1.Контроль.	41,0	18,5	0,71
HCP ₀₅	1,86	1,65	0,05
2025 год			
Парма, ВР (1,0 л/га)	44,5	21,8	0,77
Парма, ВР (1,5 л/га)	45,5	22,2	0,82
Суховой, ВР (эталон) 2,0 л/га	43,6	21,9	0,72
ГлиБест, ВР (эталон) 3,0 л/га	44,9	22,0	0,82
1.Контроль.	41,5	18,9	0,72
HCP ₀₅	1,75	156	0,06

Примечание: HCP₀₅ = 0,26 т/га

³ ГОСТ 13586.5-2015 Зерно. Метод определения влажности

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е изд., доп. перераб. М.: Агропромиздат, 2011. 351 с

Таблица 3. Урожайность зерна пшеницы яровой сорта Воронежская 12 при использовании десиканта на основе глюфосината аммония (240 г/л), ВР

Table 3. Grain yield of spring wheat variety Voronezhskaya 12 when using a desiccant based on ammonium glufosinate (240 g/l), VR

Варианты опыта	Урожайность по годам, ц/га			Средняя урожайность	
	2023	2024	2025	ц/га	% к контролю
Парма, ВР (1,0 л/га)	22,9	24,3	24,8	24,0	102,6
Парма, ВР (1,5 л/га)	24,3	26,0	25,9	25,4	108,6
Суховей, ВР (эталон) 2,0 л/га	22,8	24,1	24,6	23,8	101,9
ГлиБест, ВР (эталон) 3,0 л/га	23,7	25,3	25,6	24,9	106,4
Контроль	22,0	23,7	24,4	23,4	100
НСР ₀₅	1,15	0,35	0,75	1,1	

Наибольшая урожайность в годы исследований отмечена в норме применения десиканта Парма, ВР 1,5 л/га.

Таким образом, на яровой пшенице прослеживается влияние агрометеорологических условий на десикацию. В 2023 году отмечено снижение урожайности при десикации и влажности на 28%, что подтверждается данными по прибавке урожайности последующих лет и десикации при влажности 29–30%. В среднем за три года прибавка урожайности составляла 0,6–2,0 ц/га

относительно контроля и 6,7–2,2 относительно эталонов.

Выводы/Conclusion

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что десикант Парма, ВР на основе глюфосината аммония (240 г/л), применяемого в период полной биологической спелости в нормах применения 1,0 л/га и 1,5 л/га, ускоряет подсушивание надземной массы растений перед уборкой урожая, выравнивает влажность посевов и подготавливает культуру к уборке. Препарат в норме применения 1,5 л/га способствовал повышению урожайности на 8,6%, массе 1000 зерен и массе зерна с колоса на 4,0 и 0,19 г. По совокупности показателей (урожайность, масса 100 зерен, масса зерна с колоса) не уступал десикантам с контактным Суховей, ВР (2,6%, 3,8 и 0,1 г, соответственно) и системным действием ГлиБест, ВР (6,4%, 3,5 и 0,1 г). Результаты изучения нового гербицида Парма, ВР в части оценки биологической эффективности могут быть использованы в процессе Государственной регистрации как перспективный гербицид-десикант на пшенице яровой в исследованных нормах применения для ускорения созревания и возможности проведения своевременной механизированной уборки урожая.

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 в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «ЧГУ им А. Кадырова» (тема FECS-2025-0001).

FUNDING

The study was carried out within the framework of the state task of the Kadyrov Chechen State University (topic FECS-2025-0001)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аль-Мамури М.Х., Заргар М., Пакина Е.Н., Гайсина Э.М., Айдайбе А.А. Влияние совместного применения химических препаратов и наногербицидов на сорную растительность в посевах озимой пшеницы. *Плодородие*. 2025; (6): 62–66. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.12>
2. Лобач О.К., Сорока Л.И. Эффективность гербицида Вольник смарт, ВР применяемого в послевборочный период. *Защита растений*. 2022; 46: 15–22. <https://doi.org/10.47612/0135-3705-2022-46-15-22>
3. Захарова М.Н., Рожкова Л.В. Влияние десикантов на влажность зерна и сроки созревания сои сорта Светлая. *Аграрная наука*. 2022; (1): 90–92. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-90-92>
4. Ладан С.С., Илюшенко И.В. Биоэффективность и экотоксичность комбинированных гербицидов в посевах озимой пшеницы Московской области. *Плодородие*. 2025; (5): 43–47. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.146.08>
5. Запрудский А.А., Яковенко А.М., Привалов Д.Ф., Белова Е.С. Влияние десикантов на урожай зерна и посевные качества семян кормовых бобов. *Земледелие и растениеводство*. 2021; (3): 27–31. EDN CJYFJT
6. Левакова О.В., Гуреева Е.В. Эффективность применения десиканта «Диктатор, ВР» на посевах сои (*Glycine max*) в условиях центрально-европейской части России. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 162–166. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-162-166>
7. Астарханова Т.С., Алибалаев Д.А., Алибалаева Л.И., Абасова Т.И. Эффективность современных фунгицидов в защите зерновых культур. *Аграрная наука*. 2024; (9): 101–106. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-101-106>
8. Behzad A. et al. Effectiveness of *Rhodococcus erythropolis* strain OPI-01 on the fungal development in winter wheat. *Biodiversitas*. 2024; 25(3): 1063–1070. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250320>
9. Берестецкий А.О. Перспективы разработки новых гербицидов на основе природных соединений. *Вестник защиты растений*. 2023; 106(1): 5–25. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15502>
10. Аль-Малики А.А.С., Долженко В.И., Долженко Т.В. Биологическая эффективность гербицидов Тарзек, ВГ и У46-Комби флюид 6, ВР в посевах пшеницы озимой. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2022; 67: 58–66. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-2-58-66>
11. Diakite S. et al. Yield losses of cereal crops by *Fusarium* Link: A review on the perspective of biological control practices. *Research on Crops*. 2022; 23(2): 418–436. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.057>
12. Березнов А.В., Астарханова Т.С., Марюхина А.Г., Амин А. Комбинированный фунгицид для защиты озимой пшеницы. *Плодородие*. 2025; (6): 97–99. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.19>

REFERENCES

1. Al-Mamouri M.H., Zargar M., Pakina E.N., Gaisina E.M., Aidaibe A.A. Study the effect of mixing chemical and nano-herbicides on controlling weeds in wheat crop. *Plodoriadie*. 2025; (6): 62–66 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.12>
2. Lobach O.K., Soroka L.I. Efficiency of Volinik Smart, WS herbicide applied during the after harvest period. *Plant Protection*. 2022; 46: 15–22 (in Russian). <https://doi.org/10.47612/0135-3705-2022-46-15-22>
3. Zaharova M.N., Rozhkova L.V. Effect of desiccants on grain moisture and maturation time of soybean variety Svetlaya. *Agrarian science*. 2022; (1): 90–92. (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-90-92>
4. Ladan S.S., Ilyushenko I.V. Bioefficiency and ecotoxicity of combined herbicides in winter wheat crops of Moscow region. *Plodoriadie*. 2025; (5): 43–47 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.146.08>
5. Zaprudski A.A., Yakovenko A.M., Privalov D.F., Belova E.S. Influence of desiccants on the grain yield and sowing qualities of fodder bean seeds. *Crop Farming and Plant Growing*. 2021; (3): 27–31 (in Russian). EDN CJYFJT
6. Levakova O.V., Gureeva E.V. Effectiveness of the use of desiccant "Dictator, VR" on soybean crops (*Glycine max*) in the conditions of the Central European part of the Russia. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 162–166 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-162-166>
7. Astarkhanova T.S., Alibalaev D.A., Alibalayeva L.I., Abasova T.I. The effectiveness of modern fungicides in the protection of grain crops. *Agrarian science*. 2024; (9): 101–106 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-101-106>
8. Behzad A. et al. Effectiveness of *Rhodococcus erythropolis* strain OPI-01 on the fungal development in winter wheat. *Biodiversitas*. 2024; 25(3): 1063–1070. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250320>
9. Berestetskiy A. Prospects for the development of new herbicides based on natural compounds. *Plant Protection News*. 2023; 106(1): 5–25 (in Russian). <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15502>
10. Al-Maliki A.A.S., Dolzhenko V.I., Dolzhenko T.V. Biological efficacy of Tarzek 31.95% WG and U 46 Combi fluid 6 SL herbicide in winter wheat. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2022; 67: 58–66 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-2-58-66>
11. Diakite S. et al. Yield losses of cereal crops by *Fusarium* Link: A review on the perspective of biological control practices. *Research on Crops*. 2022; 23(2): 418–436. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.057>
12. Bereznov A.V., Astarkhanova T.S., Maryukhina A.G., Amin A. Combined fungicide for protection winter wheat. *Plodoriadie*. 2025; (6): 97–99 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.19>

13. Замыatin A., Gilev S.D., Tsybmalenko I.N. Effectiveness of desiccation of spring wheat crops in the Trans-Urals. *Nivy Zaural'ya*. 2011; (9): 67–68. EDN STLMSL
14. Lapshinova O.A., Antoshina O.A., Kuz'min N.A., Fad'kin G.N. Impact of desiccation on yield and seed quality of winter soft wheat Viola variety. *Innovative scientific and educational support of the agro-industrial complex. Proceedings of the 69th International scientific and practical conference*. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2018; 1: 75–79 (in Russian). EDN UZDCXV
15. Vafina E.F., Lozhkin M.A. Desiccation and senification in the technology of cultivation of winter triticale varieties in the Middle Urals. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(3): 21–29 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-3-2>
16. Vafina E.F., Mukhametshina S.I., Fatykhov I.S., Lozhkin M.A. Desiccation in the technology of cultivation of field crops. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; (1): 53–58 (in Russian). EDN TZLKVA
17. Laptiev A.B., Volosatova N.S. Desiccation: novel preparations and monitoring of residues. *Agricultural Chemistry*. 2020; (10): 51–57. <https://doi.org/10.31857/S000218812010004X>
18. Batueva I.V., Eliseev S.L., Iarkova N.N. Harvesting date and desiccation of winter grain crops in Middle Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (10): 10–13 (in Russian). EDN SXRFBZV
19. Redyuk S.I. Field assessment of the effectiveness of the new desiccant Molotok, VR in the Leningrad Region. *Bulletin of Plant Protection*. 2019; 1(99): 48–51. [http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1\(99\)-48-51](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1(99)-48-51)
13. Zamyatin A., Gilev S.D., Tsybmalenko I.N. Effectiveness of desiccation of spring wheat crops in the Trans-Urals. *Nivy Zaural'ya*. 2011; (9): 67–68 (in Russian). EDN STLMSL
14. Lapshinova O.A., Antoshina O.A., Kuz'min N.A., Fad'kin G.N. Impact of desiccation on yield and seed quality of winter soft wheat Viola variety. *Innovative scientific and educational support of the agro-industrial complex. Proceedings of the 69th International scientific and practical conference*. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2018; 1: 75–79 (in Russian). EDN UZDCXV
15. Vafina E.F., Lozhkin M.A. Desiccation and senification in the technology of cultivation of winter triticale varieties in the Middle Urals. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(3): 21–29 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-3-2>
16. Vafina E.F., Mukhametshina S.I., Fatykhov I.S., Lozhkin M.A. Desiccation in the technology of cultivation of field crops. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; (1): 53–58 (in Russian). EDN TZLKVA
17. Laptiev A.B., Volosatova N.S. Desiccation: novel preparations and monitoring of residues. *Agricultural Chemistry*. 2020; (10): 51–57 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S000218812010004X>
18. Batueva I.V., Eliseev S.L., Iarkova N.N. Harvesting date and desiccation of winter grain crops in Middle Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (10): 10–13 (in Russian). EDN SXRFBZV
19. Redyuk S.I. Field assessment of the effectiveness of the new desiccant Molotok, VR in the Leningrad Region. *Bulletin of Plant Protection*. 2019; 1(99): 48–51. [http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1\(99\)-48-51](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1(99)-48-51)

ОБ АВТОРАХ

Тамара Саржановна Астарханова^{1,2}

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
astarkhanova_ts@rudn.ru
<https://orcid.org/0009000443499486>

Лейла Ибрагимовна Алибалаева³

кандидат экономических наук, доцент
leyla.alibalaeva@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6995-9354>

Алексей Владимирович Березнов⁴

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
bereznov@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5889-0899>

¹ Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, ул. Магомета Гаджиева, 180, г. Махачкала, 367032, Россия

² Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, ул. им. Шерипова, 32, г. Грозный, 364907, Россия

³ Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36. г. Москва, 115054, Россия

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, ул. Прянишникова, 31а, г. Москва, 127550, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Tamara Sarzhanovna Astarkhanova^{1,2}

Doctor of Agricultural Sciences, Professor
astarkhanova_ts@rudn.ru
<https://orcid.org/0009000443499486>

Leila Ibragimovna Alibalaeva³

PhD in Economics, Associate Professor
leyla.alibalaeva@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6995-9354>

Alexey Vladimirovich Bereznov⁴

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher
bereznov@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5889-0899>

¹ M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University, 180 Magomet Gadzhiev st., Makhachkala, 367032, Russia

² Kadyrov Chechen State University, 32 Sheripov st., Grozny, 364907 Russia

³ Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 115054, Russia

⁴ D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, 31a Pryanishnikov st., Moscow, 127550, Russia

С.А. Пешков¹ ✉А.П. Глинушкин²О.В. Кван¹П.П. Муковоз³А.Д. Степанов¹¹Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, Оренбург, Россия²Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия³Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

✉ darvin156@mail.ru

Поступила в редакцию: 19.03.2026

Одобрена после рецензирования: 15.07.2026

Принята к публикации: 29.07.2026

© Пешков С.А., Глинушкин А.П., Кван О.В., Муковоз П.П., Степанов А.Д.

Research article

Sergey A. Peshkov¹ ✉Alexey P. Glinushkin²Olga V. Kvan¹Petr P. Mukovoz³Artem D. Stepanov¹¹Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Orenburg, Russia²N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia³I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

✉ darvin156@mail.ru

Received by the editorial office: 19.03.2026

Accepted in revised: 15.07.2026

Accepted for publication: 29.07.2026

© Peshkov S.A., Glinushkin A.P., Kvan O.V., Mukovoz P.P., Stepanov A.D.

Влияние флавоноидов на рост и антиоксидантный статус *Triticum aestivum* L.

РЕЗЮМЕ

Флавоноиды представляют собой перспективный класс природных биостимуляторов роста растений, однако их индивидуальное влияние на физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных культур требует детального изучения. Помимо непосредственного регулирующего действия на метаболизм растений, эти соединения, благодаря своей восстановительной активности и способности к хелатированию ионов металлов, могут использоваться в качестве эффективных агентов для «зеленого» синтеза наночастиц, что открывает возможность создания микроудобрений с комбинированным действием. Данная работа является первым этапом двухэтапной стратегии, направленной на создание микроудобрений на основе наночастиц металлов, синтезированных с использованием флавоноидов в качестве восстанавливающих и стабилизирующих агентов. В работе представлены результаты сравнительного анализа влияния шести флавоноидов (кверцетин, катехин, таксифолин, лютеолин, формононетин, рутин) на ростовые параметры, фотосинтетический аппарат и антиоксидантную систему яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Установлено, что все соединения стимулируют накопление биомассы корней, однако наиболее сбалансированное положительное воздействие на комплекс изученных показателей оказывают формононетин и кверцетин. Данные флавоноиды достоверно увеличивали длину корней на 24,9% и 18,9% соответственно наряду с содержанием хлорофиллов, активностью супероксиддисмутазы, при этом не вызывали существенного окислительного стресса. Катехин, напротив, ингибировал развитие корней и снижал содержание пигментов. Полученные результаты позволяют рекомендовать формононетин и кверцетин для дальнейшего использования в качестве агентов «зеленого синтеза» наночастиц металлов.

Ключевые слова: флавоноиды, «зеленый» синтез, наночастицы металлов, биостимуляторы роста, *Triticum aestivum* L.

Для цитирования: Пешков С.А., Глинушкин А.П., Кван О.В., Муковоз П.П., Степанов А.Д. Влияние флавоноидов на рост и антиоксидантный статус *Triticum aestivum* L. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 124–132.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-124-132>

Effects of flavonoids on the growth and antioxidant status of *Triticum aestivum* L.

ABSTRACT

Flavonoids represent a promising class of natural plant growth biostimulants, however, their individual effects on the physio-biochemical parameters of agricultural crops require detailed investigation. In addition to their direct regulatory action on plant metabolism, these compounds, owing to their reducing activity and ability to chelate metal ions, can be used as effective agents for the «green» synthesis of nanoparticles, which creates an opportunity to develop micronutrient fertilizers with combined action. The present study constitutes the first stage of a two-stage strategy aimed at producing micronutrient fertilizers based on metal nanoparticles synthesized using flavonoids as reducing and stabilizing agents. This work presents the results of a comparative analysis of the effects of six flavonoids (quercetin, catechin, taxifolin, luteolin, formononetin, rutin) on growth parameters, the photosynthetic apparatus, and the antioxidant system of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). It was found that all compounds stimulated root biomass accumulation, however, formononetin and quercetin exerted the most balanced positive effect on the overall set of studied indicators. These flavonoids significantly increased root length by 24,9% and 18,9%, respectively, along with chlorophyll content and superoxide dismutase activity, while not inducing substantial oxidative stress. Catechin, in contrast, inhibited root development and reduced pigment content. The obtained results allow formononetin and quercetin to be recommended for further use as agents for the «green synthesis» of metal nanoparticles.

Key words: flavonoids, green synthesis, metal nanoparticles, growth biostimulants, *Triticum aestivum* L.

For citation: Peshkov S.A., Glinushkin A.P., Kvan O.V., Mukovoz P.P., Stepanov A.D. Effects of flavonoids on the growth and antioxidant status of *Triticum aestivum* L. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 124–132 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-124-132>

Введение/Introduction

Современное растениеводство сталкивается с необходимостью повышения урожайности сельскохозяйственных культур при одновременном снижении химической нагрузки на агроценозы. Перспективным направлением решения этой задачи является использование биостимуляторов роста — веществ природного происхождения, активизирующих метаболические процессы растений [1]. Среди таких соединений особый интерес представляют флавоноиды — обширная группа полифенольных вторичных метаболитов, выполняющих в растениях сигнальные, защитные и регуляторные функции [2–5]. Известно, что экзогенная обработка флавоноидами способна модифицировать ауксиновый обмен, влиять на развитие корневой системы и повышать устойчивость растений к стрессовым факторам [2, 6–8]. Однако, для практического применения этих соединений в агротехнологиях необходим детальный анализ их воздействия на ростовые параметры, пигментный комплекс и антиоксидантный статус растений, что позволит выявить наиболее эффективные стимуляторы роста и урожайности растений.

Параллельно с исследованиями биостимулирующей активности флавоноидов активно развивается направление «зеленого» синтеза наночастиц металлов с использованием растительных экстрактов [9, 10]. Флавоноиды, благодаря наличию гидроксильных групп и окислительно-восстановительному потенциалу, могут выступать одновременно в роли восстановителей [11–15], хелаторов [16] и стабилизаторов формирующихся наночастиц [11, 17–20]. Получаемые данным способом биогенные наночастицы металлов обладают высокой каталитической активностью, низкой токсичностью и могут рассматриваться как перспективный тип нанодобавок пролонгированного действия [19, 21]. Важно подчеркнуть, что при синтезе наночастиц с использованием флавоноидов последние не только обеспечивают восстановление металла, но и сохраняются на поверхности частиц, потенциально придавая им дополнительные биостимулирующие свойства [22].

Резюмируя, отметим целесообразность применения флавоноидов в качестве реагентов для «зеленого» синтеза нанодобавок на основе наночастиц металлов, однако изначально необходимо провести скрининг индивидуальных флавоноидов и оценить их собственное влияние на рост и развитие растений, чтобы отобрать соединения с максимальным положительным эффектом. В связи с этим целью данного исследования являлась сравнительная оценка влияния шести флавоноидов (кверцетин, катехин, таксифолин, лютеолин, формонетин, рутин) на всхожесть, морфометрические параметры, содержание фотосинтетических пигментов и активность антиоксидантной системы тест-культуры (*Triticum aestivum* L.) для выявления наиболее перспективных соединений

в последующем синтезе наночастиц. Далее отобранные флавоноиды предполагается использовать в качестве агентов для «зеленого» синтеза наночастиц металлов с последующей оценкой эффективности их применения на растениях — тест-культурах.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования выполнены на семенах мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) урожая 2025 г., предоставленных КФХ Соловых С.А. (Оренбургская область). Схема опыта включала семь вариантов: шесть растворов с индивидуальными флавоноидами — кверцетином, катехином, таксифолином, лютеолином, формонетинем и рутином — в одинаковой массовой концентрации 2,5 мг на 100 мл, а также контрольный вариант с дистиллированной водой. Следует отметить, что вследствие различий в молекулярной массе исследуемых соединений использованные растворы не являлись эквимоллярными. Сравнение эффектов проводили при одинаковой массовой дозировке вещества. Все соединения были приобретены у компании Macklin (Китай). Соответствие ИК-спектров исследуемых веществ эталонным спектрам баз данных SDBS (AIST) и NIST оценивали с использованием ИК-спектроскопии на приборе ФСМ 2201/2202 («Инфраспек», Россия); степень совпадения составляла от 83 до 95%.

Семена в количестве 100 штук на вариант проращивали в пластиковых контейнерах (20×30 см) на двух слоях фильтровальной бумаги, увлажненной соответствующими растворами. Экспозиция продолжалась 14 суток в климатической камере Pol-Eko KK 1200 TOP+ (Pol-Eko-Aparatura, Польша) при регулируемых параметрах: температура — $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха — (55–65)%, световой период — 16/8 ч (свет/темнота), освещенность 15000 лк. Энергию прорастания и всхожесть определяли на седьмые сутки согласно ГОСТ 1203884¹. На 14е сутки у каждого растения измеряли длину побега и главного корня, а также сырую массу надземной и корневой частей. На основе полученных данных вычисляли индексы толерантности (ИТ) для длины побегов и корней, а также индексы массы (ИМ) для побегов и корней, принимая показатели контроля за 100%. Подобная методика уже была апробирована в других исследованиях [23, 24].

Для определения фотосинтетических пигментов (хлорофиллы *a*, *b*, *a+b*, каротиноиды), а также биохимических исследований пробоподготовку осуществляли методом ультразвуковой экстракции (45 °C, 60 мин) навесок свежей зеленой массы 96% этанолом после предварительного замораживания образцов. Оптическую плотность экстрактов регистрировали на спектрофотометре UNICO 2800 (United Products & Instruments,

¹ ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести

США). Содержание пигментов рассчитывали по уравнениям Винтерманса и Де Мотса (1965) по оптическим плотностям при 440, 649, 655 и 665 нм. Количество суммы полифенольных соединений определяли с реактивом Фолина–Чокальтеу [25, 26] при 765 нм; содержание флавоноидов — по реакции комплексообразования с $AlCl_3$ [27, 28] при 510 нм (калибровочный график по кверцетину). Растворимый белок осаждали красителем амидо-черный 10В с последующим измерением при 615 нм. Интенсивность перекисного окисления липидов фиксировали по накоплению малонового диальдегида (МДА) в реакции с тиобарбитуровой кислотой при 532 нм [29, 30]. Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) определяли по уменьшению концентрации H_2O_2 при 240 нм, супероксиддисмутазы (СОД, КФ 1.15.1.1) — по степени ингибирования восстановления нитросинего тетразолия при 560 нм. Все измерения, кроме каталазы, выполняли в трех параллелях.

Полученные данные обрабатывали методами описательной статистики с использованием пакетов Statistica 12.0 (StatSoft, США). Нормальность распределения проверяли по критериям Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Для сравнения вариантов опыта использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). При выявлении значимых эффектов применяли критерий Тьюки для множественных сравнений. В случаях, когда распределение признака отличалось от нормального, использовали непараметрический U-критерий Манна–Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Визуализацию экспериментальных данных выполняли с использованием библиотеки Matplotlib языка программирования Python.

Для оценки направленности и степени изменения исследованных морфометрических и биохимических показателей была построена тепловая карта (рисунок 3). Все значения каждого признака нормировали к показателям контроля, которые условно принимали за 100%. Относительное значение признака рассчитывали по формуле:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{\text{контр},j}} \times 100,$$

где P_{ij} — значение j -го показателя (признак) у i -го варианта (опыт) в процентах от контроля, x_{ij} — исходное измеренное значение показателя у соответствующего варианта, $x_{\text{контр},j}$ — значение того же показателя в контроле.

Для цветового кодирования тепловой карты использовали отклонение от контроля, рассчитанное как:

$$\Delta_{ij} = \left(\frac{X_{ij} - X_{\text{контр},j}}{X_{\text{контр},j}} \right) \times 100 = P_{ij} - 100$$

Таким образом, значения $\Delta_{ij} = 0$ или $P_{ij} = 100\%$ соответствует отсутствию различий с контролем,

положительные значения отражают увеличение признака, отрицательные — его снижение.

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

На первом этапе эксперимента было оценено влияние флавоноидов (кверцетин, катехин, таксифолин, лютеолин, формонетин, рутин) на ростовые параметры *Triticum aestivum* L. Контролем служили семена, проращиваемые на дистиллированной воде. Усредненные данные по вариантам опыта представлены в таблице 1.

Наиболее высокая всхожесть (95%) была отмечена в вариантах с обработкой кверцетином и лютеолином. Несколько ниже данный показатель оказался для формонетина и рутина (по 92,5%), а также таксифолина (90%). Минимальное значение по всхожести среди опытных образцов зафиксировано под действием катехина (82,5%). По оценке показателя фитотоксичности и количества проростков относительно контроля на седьмые сутки наименьшее ингибирующее воздействие на прорастание проявили кверцетин, лютеолин и рутин — 20%, 28% и 28% соответственно. Наибольший угнетающий эффект оказал катехин (38%).

По результатам анализа морфометрических параметров, средняя длина побега во всех опытах не сильно отличалась от контроля (19,19 см). Различия в длине варьировали от 18,28 см до 19,51 см. Наибольший положительный эффект на среднюю длину побега относительно контроля оказали лютеолин (101,64%) и формонетин (101,50%). Для таксифолина и кверцетина длина побегов была практически на уровне контроля — 100,06% и 100,67% соответственно. Однофакторный дисперсионный анализ не показал достоверных различий в средних значениях между указанными вариантами опытов — различия превышают уровень $p \geq 0,05$. Только в случае для катехина значения являются статистически достоверными ($p \leq 0,05$). Снижение длины побегов относительно контроля в данном варианте опыта составляет — 95,26%.

Таблица 1. Сравнение витальных показателей *Triticum aestivum* L.

Table 1. Comparison of vital indicators of *Triticum aestivum* L.

Название образца	Всхожесть, %	Фит-ть, % (7 день)	ИТ побегов, %	ИТ корней, %	ИМ побегов, %	ИМ корней, %
Кверцетин	95	20	100,67	118,96	107,14	169,31
Катехин	82,5	38	95,26	90,82	93,09	142,57
Таксифолин	90	30	100,06	98,45	100,40	146,86
Лютеолин	95	28	101,64	105,35	101,17	149,74
Формонетин	92,5	30	101,50	124,92	109,83	148,51
Рутин	92,5	28	96,96	106,73	105,21	130,36
Контроль	85	30	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание: Фит-ть — фитотоксичность; ИТ — индекс толерантности; ИМ — индекс массы

Более выраженное влияние флавоноиды оказали на развитие корневой системы. Наибольшая средняя длина корня зафиксирована под действием формоннетина (18,11 см), что существенно превысило контрольные значения (14,50 см). Индекс толерантности длины корня составил 124,92%, что указывает на наибольший стимулирующий эффект среди всех изученных соединений. Также значительное увеличение длины корней относительно контроля наблюдалось при обработке кверцетином (118,96%) и рутином (106,73%). Напротив, катехин проявил ингибирующее действие на рост корней, снизив их длину до 13,17 см (90,82% от контроля).

По массе побегов также положительная динамика относительно контроля отмечена для большинства образцов. Наибольшее увеличение общей массы побегов обеспечили формоннетин и кверцетин. Индекс толерантности биомассы побегов для первого составил — 109,83%, во втором случае — 107,14%. Такие результаты коррелируют с данными по длине побегов для этих соединений. Снижение показателя ИМ побегов относительно контроля зафиксировано только в варианте с катехином (93,09%).

Влияние на биомассу корней было еще более контрастным. Наибольшая средняя масса корня зафиксирована под действием кверцетина, превышение относительно контрольного показателя составило 69,3%. Высокие значения также отмечены для лютеолина, формоннетина и таксифолина (ИМ корней 149,7%, 148,5% и 146,9% соответственно). Несколько ниже, но также значительно выше контроля, данный показатель был у катехина и рутина, 142,6% и 130,4% соответственно. Таким образом, все изученные флавоноиды способствовали увеличению биомассы корневой системы в сравнении с контролем.

Согласно литературным данным, флавоноиды способны влиять на обмен ауксинов в растениях, выступая регуляторами метаболизма индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) [31, 32]. В зависимости от структуры соединения, они могут проявлять свойства синергистов ауксинов (кверцетин, лютеолин, мирицетин) либо их антагонистов (нарингенин, апигенин, нарингин). В первом случае стимулирующий эффект реализуется через ингибирование активности ИУК-оксидазы — фермента, катализирующего окислительное разрушение ауксина. Во втором случае, напротив, флавоноиды выступают кофакторами в активном центре данного фермента, ускоряя деградацию ИУК. Результатом воздействия

исследуемых нами флавоноидов является изменение корневой системы. Выражается это в увеличении количества боковых корней и, как следствие, наращивании общей корневой массы [33].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее выраженное воздействие на витальные и морфометрические параметры оказывают формоннетин, лютеолин и кверцетин. Катехин, напротив, проявляет тенденцию к ингибированию развития корневой системы и снижению общей всхожести на начальных этапах.

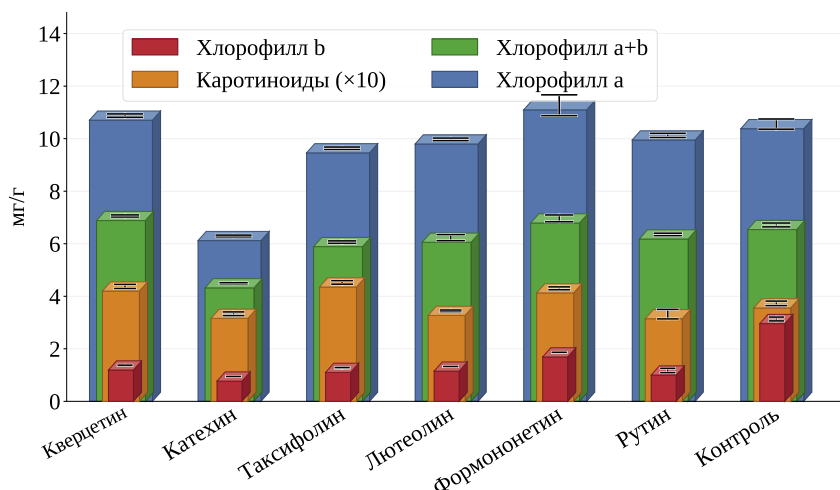
В отношении пигментного комплекса исследуемые флавоноиды оказали разнонаправленное влияние на накопление фотосинтетических пигментов в листьях растений. Результаты спектрофотометрического анализа представлены на рисунке 1.

Накопление каротиноидов варьировалось в широких пределах — от 314,48 до 435,30 мкг/г сырой массы. Максимальное содержание данных пигментов зафиксировано в варианте с обработкой таксифолином (435,30 мкг/г), что превысило контрольный показатель (355,54 мкг/г) на 22,4%. Высокий уровень каротиноидов также отмечен под действием кверцетина (420,04 мкг/г) и формоннетина (412,74 мкг/г). Снижение содержания каротиноидов относительно контроля наблюдалось при обработке лютеолином (327,14 мкг/г), а также катехином и рутином (315,92 и 314,48 мкг/г соответственно), что указывает на возможный стресс-индуцированный эффект либо ингибирование биосинтеза.

По содержанию основного пигмента фотосинтеза — хлорофилла *a* — лучший результат показал формоннетин (11,10 мг/г), незначительно опередив контроль (10,38 мг/г). Близкие к этому же уровню значения обеспечили кверцетин (10,70 мг/г) и лютеолин (9,80 мг/г). Наименьшее содержание хлорофилла *a* отмечено в варианте с катехином (6,12 мг/г), что более чем в 1,5 раза ниже контрольного уровня и свидетельствует о

Рис. 1. Изменения в пигментном комплексе *Triticum aestivum* L. под влиянием флавоноидов

Fig. 1. Changes in the pigment complex of *Triticum aestivum* L. under the influence of flavonoids



существенном ингибирующем действии данного соединения на его синтез.

Содержание хлорофилла *b* во всех опытных образцах было значительно ниже контрольных значений (2,96 мг/г). Наибольшее количество данного пигмента среди флавоноидов накоплено под действием формононетина (1,69 мг/г) и кверцетина (1,19 мг/г). Минимальные значения зафиксированы для катехина (0,77 мг/г) и рутина (1,00 мг/г). Столь резкое снижение хлорофилла *b* относительно контроля может быть связано как с видовыми особенностями тест-культуры, так и с перераспределением пулов пигментов под влиянием экзогенных соединений.

По сумме хлорофиллов *a+b* максимальные значения наблюдались в вариантах с кверцетином и формононетином — 6,88 мг/г и 6,79 мг/г, что превысило контрольный уровень — 5,52 мг/г. Лютеолин и рутин также способствовали накоплению суммарных хлорофиллов выше контроля (6,56 и 6,18 мг/г соответственно). Обработка таксифолином дала результат (5,09 мг/г), близкий к контролю, в то время как катехин резко снизил данный показатель (4,32 мг/г), что коррелирует с его негативным влиянием на ростовые параметры корней, отмеченным ранее.

Таким образом, наиболее благоприятное влияние на пигментный комплекс растений оказали формононетин и кверцетин, стимулировавшие накопление как хлорофиллов, так и каротиноидов [34]. Катехин проявил выраженное ингибирующее действие в отношении всех исследуемых групп пигментов.

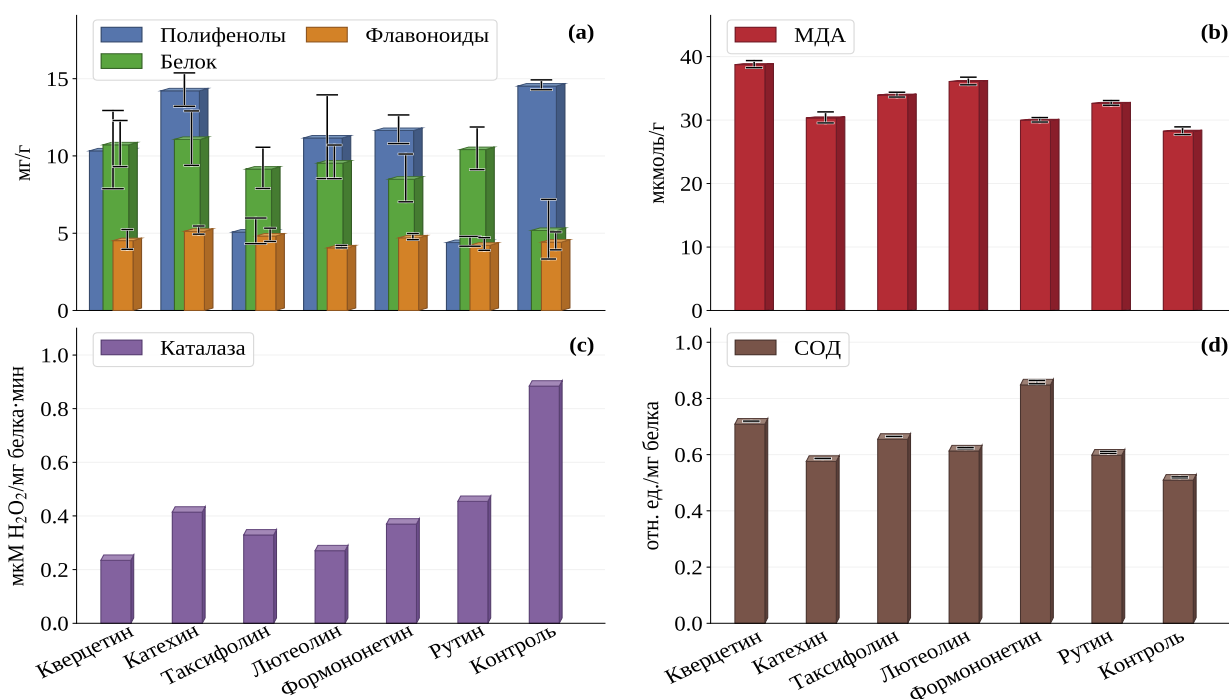
Для оценки метаболических изменений под действием флавоноидов было проанализировано содержание ключевых вторичных метаболитов, общего белка, а также активность антиоксидантной системы (рисунок 2). Наибольшее суммарное содержание полифенолов зафиксировано в варианте с катехином (14,22 мг/г), что сопоставимо с контрольным уровнем (14,53 мг/г). Высокие значения также отмечены для формононетина (11,65 мг/г), лютеолина (11,17 мг/г) и кверцетина (10,33 мг/г). Минимальное накопление полифенолов наблюдалось при обработке рутином (4,40 мг/г) и таксифолином (5,07 мг/г), что более чем в 2,5 раза ниже контроля.

По содержанию, собственно, флавоноидов большинство образцов превысило контрольный показатель (4,42 мг/г). Максимум зафиксирован для катехина (5,12 мг/г). Также значительное увеличение относительно контроля обеспечили таксифолин (4,82 мг/г) и формононетин (4,70 мг/г). Снижение содержания флавоноидов отмечено только под действием лютеолина (4,05 мг/г), тогда как кверцетин и рутин показали значения, близкие к контрольному уровню (4,52 и 4,22 мг/г соответственно). Однако анализ доверительных интервалов показал, что различия между вариантами опыта и контролем не достигают уровня статистической значимости ($p > 0,05$), что не позволяет сделать вывод о существенном влиянии экзогенных флавоноидов на их собственное содержание в растительных тканях.

Также все исследуемые соединения вызвали достоверное существенное увеличение

Рис. 2. Сравнительный анализ ключевых биохимических показателей *Triticum aestivum* L под влиянием флавоноидов: (а) — содержание полифенолов, флавоноидов и белка; (б) — интенсивность перекисного окисления липидов по уровню малонового диальдегида (МДА); (с) — активность каталазы; (д) — активность супероксиддисмутазы (СОД)

Fig. 2. Comparative analysis of key biochemical parameters of *Triticum aestivum* L. under the influence of flavonoids: (a) polyphenol, flavonoid, and protein contents; (b) lipid peroxidation intensity assessed by the malondialdehyde (MDA) level; (c) catalase activity; (d) superoxide dismutase (SOD) activity



содержания растворимого белка по сравнению с контролем (5,18 мг/г). Наибольший эффект оказал катехин (11,07 мг/г), увеличивший данный показатель более чем в два раза. Высокое содержание белка также зафиксировано при обработке кверцетином (10,72 мг/г) и рутином (10,41 мг/г). Минимальное, но все еще превышающее контроль значение отмечено для формонетина (8,50 мг/г). Это может свидетельствовать об активации метаболических процессов и синтетической активности под влиянием исследуемых веществ, что приводит к общему накоплению белка.

Уровень малонового диальдегида (МДА), отражающий степень окислительной деструкции мембран, варьировал в зависимости от варианта обработки. Минимальное содержание МДА, близкое к контрольным значениям (28,24 мкмоль/г), наблюдалось под действием формонетина (29,96 мкмоль/г), что коррелирует с его стимулирующим влиянием на рост корней и пигменты. Несколько выше, но все еще на низком уровне, этот показатель был у катехина (30,34 мкмоль/г). Наибольшее накопление МДА зафиксировано в вариантах с кверцетином (38,73 мкмоль/г) и лютеолином (36,08 мкмоль/г). Такие данные могут указывать уже на развитие окислительного стресса либо на временную активацию свободнорадикальных процессов, сопряженную с метаболической перестройкой [35].

Активность каталазы во всех опытных образцах была ниже контрольного уровня (0,884 мкМ H_2O_2 /мг белка·мин), что является неожиданным результатом. Наиболее близкие к контролю значения сохранились при обработке рутином (0,454) и катехином (0,414). Минимальная активность фермента зафиксирована под действием кверцетина (0,235), что более чем в 3,5 раза ниже контроля. Это может быть связано с альтернативными путями утилизации пероксида водорода либо с ингибированием фермента самими флавоноидами [35, 36].

Противоположная тенденция выявлена для супероксиддисмутазы (СОД). Обработка всеми исследуемыми соединениями привела к увеличению активности СОД относительно контроля (0,509 отн. ед./мг белка). Максимальная

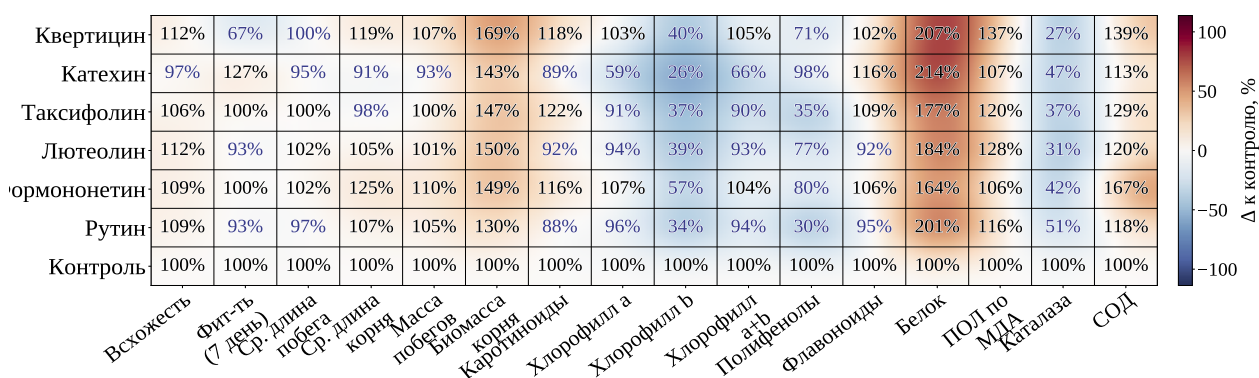
активация фермента отмечена для формонетина (0,848), что в сочетании с низким уровнем МДА и высокими показателями роста и пигментов позволяет рассматривать его как наиболее эффективный протектор. Высокую активность СОД также обеспечили кверцетин (0,708) и таксифолин (0,655). Лютеолин, рутин и катехин, несмотря на повышение активности СОД относительно контроля, показали более низкие значения среди опытной группы (0,613; 0,598 и 0,576 соответственно).

Чтобы оценить степень изменения исследованных морфометрических и биохимических показателей была построена тепловая карта (рисунок 3). Она позволяет наглядно сопоставить все варианты опыта и выявить как общие закономерности, так и специфические эффекты отдельных соединений по комплексу изученных параметров. Наибольшее число положительных отклонений от контроля зафиксировано для формонетина и кверцетина, которые стимулировали рост корней, накопление пигментов и белка, а также повышали активность СОД. Все соединения способствовали увеличению биомассы корней, при этом максимальный эффект отмечен для кверцетина. Обработка катехином, напротив, сопровождалась снижением содержания хлорофиллов и активности СОД, но повышением уровня полифенолов и белка. Наибольшая активация антиоксидантной системы (СОД) при минимальном уровне МДА выявлена в варианте с формонетинном, что коррелирует с его выраженным ростостимулирующим действием.

На основании полученных данных можно сделать окончательный вывод, что формонетин выделяется как соединение, обеспечивающее наиболее сбалансированное сочетание показателей — низкий уровень окислительного стресса, высокую активность СОД и накопление пигментов. Катехин, несмотря на высокое содержание белка и фенольных соединений, отличался снижением активности СОД и негативными изменениями в пигментном комплексе, что указывает на возможный слабый токсический эффект. Кверцетин и лютеолин, стимулируя рост, вызывали умеренное повышение МДА, что может свидетельствовать о физиологическом стрессе, связанном с активным ростом [3].

Рис. 3. Тепловая карта общих изменений физиолого-биохимических показателей пшеницы под влиянием флавоноидов

Fig. 3. Heat map of integrated changes in the physiological and biochemical parameters of wheat under the influence of flavonoids



Выводы/Conclusion

В ходе сравнительной оценки влияния шести флавоноидов на ростовые параметры, пигментный комплекс и антиоксидантный статус *Triticum aestivum* L. определены соединения, наиболее перспективные для последующего использования в «зеленом» синтезе наночастиц металлов. Установлено, что формононетин и кверцетин оказывают максимальное стимулирующее действие на рост корневой системы, увеличивая ее длину на 24,9% и 18,9%, а биомассу — на 48,5% и 69,3% соответственно. Оба соединения способствуют накоплению фотосинтетических пигментов, повышению активности супероксиддисмутазы и не вызывают существенного

окислительного стресса, о чем свидетельствуют низкие уровни МДА. Лютеолин и таксифолин также проявляют положительные эффекты, но уступают двум предыдущим по комплексу параметров. Катехин, несмотря на высокое содержание белка и полифенолов, ингибирует развитие корней и снижает содержание хлорофиллов, что ограничивает его использование в качестве агента для синтеза. Таким образом, полученные данные позволяют рассматривать формононетин и кверцетин как наиболее перспективные соединения для дальнейшего использования в качестве агентов «зеленого» синтеза наночастиц металлов с целью создания новых микродобрований.

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 № 24-76-10080

FUNDING

The research was carried out at the expense of the Russian Science Foundation grant №. 24-76-10080.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Martinez-Alonso A., Yepes-Molina L., Guarnizo A.L., Carvajal M. Modification of Gene Expression of Tomato Plants through Foliar Flavonoid Application in Relation to Enhanced Growth. *Genes*. 2023; 14(12): 2208. <https://doi.org/10.3390/genes14122208>
- Parvin K., Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M.B., Mohsin S.M., Fujita M. Quercetin Mediated Salt Tolerance in Tomato through the Enhancement of Plant Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. *Plants*. 2019; 8(8): 247. <https://doi.org/10.3390/plants8080247>
- Zhang Y., Xia Y. Quercetin enhances tomato seed germination via phenylpropanoid-dependent regulation of ROS, hormone signaling, and starch hydrolysis. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2026; 230: 110590. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.110590>
- Ma D., Sun D., Wang C., Li Y., Guo T. Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014; 80: 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.024>
- Jańczak-Pieniżek M., Migut D., Piechowiak T., Balawejder M. Assessment of the Impact of the Application of a Quercetin—Copper Complex on the Course of Physiological and Biochemical Processes in Wheat Plants (*Triticum aestivum* L.) Growing under Saline Conditions. *Cells*. 2022; 11(7): 1141. <https://doi.org/10.3390/cells11071141>
- Fedoreyeva L.I., Lazareva E.M., Kononenko N.V. Features of the Effect of Quercetin on Different Genotypes of Wheat under Hypoxia. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(8): 4487. <https://doi.org/10.3390/ijms25084487>
- Jańczak-Pieniżek M., Migut D., Piechowiak T., Balawejder M. Enhancement of Photosynthetic Efficiency and Antioxidant Response in Wheat Under Drought Stress by Quercetin—Copper Complex. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26(21): 10365. <https://doi.org/10.3390/ijms262110365>
- Kong Y. *et al.* Exogenous application of luteolin enhances wheat resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2025; 222: 109674. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109674>
- Jain S., Mehata M.S. Medicinal Plant Leaf Extract and Pure Flavonoid Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles and their Enhanced Antibacterial Property. *Scientific Reports*. 2017; 7: 15867. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15724-8>
- Chen X. *et al.* Formononetin in Radix Hedysari extract-mediated green synthesis of gold nanoparticles for colorimetric detection of ferrous ions in tap water. *RSC Advances*. 2020; 10(54): 32897–32905. <https://doi.org/10.1039/d0ra05660j>
- Sysak S. *et al.* Metal Nanoparticle-Flavonoid Connections: Synthesis, Physicochemical and Biological Properties, as Well as Potential Applications in Medicine. *Nanomaterials*. 2023; 13(9): 1531. <https://doi.org/10.3390/nano13091531>
- Singh H. *et al.* Revisiting the Green Synthesis of Nanoparticles: Uncovering Influences of Plant Extracts as Reducing Agents for Enhanced Synthesis Efficiency and Its Biomedical Applications. *International Journal of Nanomedicine*. 2023; 18: 4727–4250. <https://doi.org/10.2147/IJN.S419369>
- Ramírez-Rosas S.L., Delgado-Alvarado E., Sanchez-Vargas L.O., Herrera-May A.L., Peña-Juarez M.G., Gonzalez-Calderon J.A. Green Route to Produce Silver Nanoparticles Using the Bioactive Flavonoid Quercetin as a Reducing Agent and Food Anti-Caking Agents as Stabilizers. *Nanomaterials*. 2022; 12(19): 3545. <https://doi.org/10.3390/nano12193545>

REFERENCES

- Martinez-Alonso A., Yepes-Molina L., Guarnizo A.L., Carvajal M. Modification of Gene Expression of Tomato Plants through Foliar Flavonoid Application in Relation to Enhanced Growth. *Genes*. 2023; 14(12): 2208. <https://doi.org/10.3390/genes14122208>
- Parvin K., Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M.B., Mohsin S.M., Fujita M. Quercetin Mediated Salt Tolerance in Tomato through the Enhancement of Plant Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. *Plants*. 2019; 8(8): 247. <https://doi.org/10.3390/plants8080247>
- Zhang Y., Xia Y. Quercetin enhances tomato seed germination via phenylpropanoid-dependent regulation of ROS, hormone signaling, and starch hydrolysis. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2026; 230: 110590. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.110590>
- Ma D., Sun D., Wang C., Li Y., Guo T. Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014; 80: 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.024>
- Jańczak-Pieniżek M., Migut D., Piechowiak T., Balawejder M. Assessment of the Impact of the Application of a Quercetin—Copper Complex on the Course of Physiological and Biochemical Processes in Wheat Plants (*Triticum aestivum* L.) Growing under Saline Conditions. *Cells*. 2022; 11(7): 1141. <https://doi.org/10.3390/cells11071141>
- Fedoreyeva L.I., Lazareva E.M., Kononenko N.V. Features of the Effect of Quercetin on Different Genotypes of Wheat under Hypoxia. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(8): 4487. <https://doi.org/10.3390/ijms25084487>
- Jańczak-Pieniżek M., Migut D., Piechowiak T., Balawejder M. Enhancement of Photosynthetic Efficiency and Antioxidant Response in Wheat Under Drought Stress by Quercetin—Copper Complex. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26(21): 10365. <https://doi.org/10.3390/ijms262110365>
- Kong Y. *et al.* Exogenous application of luteolin enhances wheat resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2025; 222: 109674. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109674>
- Jain S., Mehata M.S. Medicinal Plant Leaf Extract and Pure Flavonoid Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles and their Enhanced Antibacterial Property. *Scientific Reports*. 2017; 7: 15867. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15724-8>
- Chen X. *et al.* Formononetin in Radix Hedysari extract-mediated green synthesis of gold nanoparticles for colorimetric detection of ferrous ions in tap water. *RSC Advances*. 2020; 10(54): 32897–32905. <https://doi.org/10.1039/d0ra05660j>
- Sysak S. *et al.* Metal Nanoparticle-Flavonoid Connections: Synthesis, Physicochemical and Biological Properties, as Well as Potential Applications in Medicine. *Nanomaterials*. 2023; 13(9): 1531. <https://doi.org/10.3390/nano13091531>
- Singh H. *et al.* Revisiting the Green Synthesis of Nanoparticles: Uncovering Influences of Plant Extracts as Reducing Agents for Enhanced Synthesis Efficiency and Its Biomedical Applications. *International Journal of Nanomedicine*. 2023; 18: 4727–4250. <https://doi.org/10.2147/IJN.S419369>
- Ramírez-Rosas S.L., Delgado-Alvarado E., Sanchez-Vargas L.O., Herrera-May A.L., Peña-Juarez M.G., Gonzalez-Calderon J.A. Green Route to Produce Silver Nanoparticles Using the Bioactive Flavonoid Quercetin as a Reducing Agent and Food Anti-Caking Agents as Stabilizers. *Nanomaterials*. 2022; 12(19): 3545. <https://doi.org/10.3390/nano12193545>

14. Tasca F., Antiochia R. Biocide Activity of Green Quercetin-Mediated Synthesized Silver Nanoparticles. *Nanomaterials*. 2020; 10(5): 909. <https://doi.org/10.3390/nano10050909>
15. Kubavat K. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using dietary antioxidant rutin and its biological contour. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2022; 11: 115. <https://doi.org/10.1186/s43088-022-00297-x>
16. Walencik P.K., Choińska R., Gołębiowska E., Kalinowska M. Metal–Flavonoid Interactions—From Simple Complexes to Advanced Systems. *Molecules*. 2024; 29(11): 2573. <https://doi.org/10.3390/molecules29112573>
17. Dutta T., Maity A., Khan A.A., Ghosh N.N. Activity of pure flavonoid-based green silver nano particles against breast cancer: A combined experimental and computational investigation. *Journal of Molecular Structure*. 2024; 1311: 138348. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138348>
18. Yuan Y.G., Wang Y.H., Xing H.H., Gurunathan S. Quercetin-mediated synthesis of graphene oxide–silver nanoparticle nanocomposites: a suitable alternative nanotherapy for neuroblastoma. *International Journal of Nanomedicine*. 2017; 12: 5819–5839. <https://doi.org/10.2147/IJN.S140605>
19. Choi Y., Choi M.-J., Cha S.-H., Kim Y.S., Cho S., Park Y. Catechin-capped gold nanoparticles: green synthesis, characterization, and catalytic activity toward 4-nitrophenol reduction. *Nanoscale Research Letters*. 2014; 9: 103. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-103>
20. Qing W., Wang Y., Li X., Lu M., Liu X. Facile synthesis of mPEG-luteolin-capped silver nanoparticles with antimicrobial activity and cytotoxicity to neuroblastoma SK-N-SH cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2017; 160: 390–394. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.09.048>
21. Pandian S.R.K., Kunjiappan S., Ravishankar V., Sundarapandian V. Synthesis of quercetin-functionalized silver nanoparticles by rapid one-pot approach. *BioTechnology*. 2021; 102(1): 75–84. <https://doi.org/10.5114/bta.2021.103764>
22. Chahardoli A., Hajmomeni P., Ghowsi M., Qalekhani F., Shokoohinia Y., Fattahi A. Optimization of Quercetin-Assisted Silver Nanoparticles Synthesis and Evaluation of Their Hemocompatibility, Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antibacterial effects. *Global Challenges*. 2021; 5(12): 2100075. <https://doi.org/10.1002/gch2.202100075>
23. Пешков С.А. и др. Ультрадисперсные и ионные формы серебра: оценка влияния на рост проростков пшеницы *Triticum aestivum* и перспективы использования в качестве новых средств защиты растений. *Агрохимия*. 2025; (9): 49–59. <https://doi.org/10.7868/S3034496425090067>
24. Пешков С.А. и др. Влияние глицината железа и его ультрадисперсных частиц на ростовые и биохимические параметры проростков *Triticum aestivum* L. *Агрохимия*. 2025; (4): 40–48. <https://doi.org/10.7868/S3034496425040056>
25. Hudz N., Yezerska O., Shanaida M., Horčinová Sedláčková V., Wiecezorek P.P. Application of the Folin-Ciocalteu method to the evaluation of *Salvia sclarea* extracts. *Pharmacia*. 2019; 66(4): 209–215. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.66.e38976>
26. Pérez M., Dominguez-López I., Lamuela-Raventós R.M. The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023; 71(46): 17543–17553. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>
27. Chen H.-h., Zhou J.-h. Systematic Investigation on AlCl₃ Colorimetric Determination of Total Flavonoids in Daylily. *Proceedings of SPIE*. 2022; 12458: 1245804 <https://doi.org/10.1117/12.2660568>
28. Shraim A.M., Ahmed T.A., Rahman M.M., Hijji Y.M. Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*. 2021; 150: 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>
29. Hodges D.M., DeLong J.M., Forney C.F., Prange R.K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 1999; 207(4): 604–611. <https://doi.org/10.1007/s004250050524>
30. Landi M. Commentary to: "Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds" by Hodges et al., *Planta* (1999) 207:604–611. *Planta*. 2017; 245(6): 1067. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2699-3>
31. Kurepa J., Shull T.E., Smalle J.A. Friends in Arms: Flavonoids and the Auxin/Cytokinin Balance in Terrestrialization. *Plants*. 2023; 12(3): 517. <https://doi.org/10.3390/plants12030517>
32. Daryanavard H., Postiglione A.E., Mühlemann J.K., Muday G.K. Flavonols modulate plant development, signaling, and stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*. 2023; 72: 102350. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102350>
33. Tohge T., Fernie A.R. Specialized Metabolites of the Flavonol Class Mediate Root Phototropism and Growth. *Molecular Plant*. 2016; 9(12): 1554–1555. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2016.10.019>
34. Jańczak-Pieniążek M., Migut D., Piechowiak T., Buczek J., Balawejder M. The Effect of Exogenous Application of Quercetin Derivative Solutions on the Course of Physiological and Biochemical Processes in Wheat Seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(13): 6882. <https://doi.org/10.3390/ijms22136882>
35. Dumanović J., Nepovimova E., Natić M., Kuča K., Jačević V. The Significance of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense System in Plants: A Concise Overview. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11: 552969. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.552969>
36. Sharma P., Jha A.B., Dubey R.S., Pessarakli M. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*. 2012; 2012: 217037. <https://doi.org/10.1155/2012/217037>
14. Tasca F., Antiochia R. Biocide Activity of Green Quercetin-Mediated Synthesized Silver Nanoparticles. *Nanomaterials*. 2020; 10(5): 909. <https://doi.org/10.3390/nano10050909>
15. Kubavat K. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using dietary antioxidant rutin and its biological contour. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2022; 11: 115. <https://doi.org/10.1186/s43088-022-00297-x>
16. Walencik P.K., Choińska R., Gołębiowska E., Kalinowska M. Metal–Flavonoid Interactions—From Simple Complexes to Advanced Systems. *Molecules*. 2024; 29(11): 2573. <https://doi.org/10.3390/molecules29112573>
17. Dutta T., Maity A., Khan A.A., Ghosh N.N. Activity of pure flavonoid-based green silver nano particles against breast cancer: A combined experimental and computational investigation. *Journal of Molecular Structure*. 2024; 1311: 138348. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138348>
18. Yuan Y.G., Wang Y.H., Xing H.H., Gurunathan S. Quercetin-mediated synthesis of graphene oxide–silver nanoparticle nanocomposites: a suitable alternative nanotherapy for neuroblastoma. *International Journal of Nanomedicine*. 2017; 12: 5819–5839. <https://doi.org/10.2147/IJN.S140605>
19. Choi Y., Choi M.-J., Cha S.-H., Kim Y.S., Cho S., Park Y. Catechin-capped gold nanoparticles: green synthesis, characterization, and catalytic activity toward 4-nitrophenol reduction. *Nanoscale Research Letters*. 2014; 9: 103. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-103>
20. Qing W., Wang Y., Li X., Lu M., Liu X. Facile synthesis of mPEG-luteolin-capped silver nanoparticles with antimicrobial activity and cytotoxicity to neuroblastoma SK-N-SH cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2017; 160: 390–394. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.09.048>
21. Pandian S.R.K., Kunjiappan S., Ravishankar V., Sundarapandian V. Synthesis of quercetin-functionalized silver nanoparticles by rapid one-pot approach. *BioTechnology*. 2021; 102(1): 75–84. <https://doi.org/10.5114/bta.2021.103764>
22. Chahardoli A., Hajmomeni P., Ghowsi M., Qalekhani F., Shokoohinia Y., Fattahi A. Optimization of Quercetin-Assisted Silver Nanoparticles Synthesis and Evaluation of Their Hemocompatibility, Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antibacterial effects. *Global Challenges*. 2021; 5(12): 2100075. <https://doi.org/10.1002/gch2.202100075>
23. Peshkov S.A. *et al.* Ultrafine and ionic forms of silver: assessment of the effect on the growth of wheat seedlings of *Triticum aestivum* and prospects for use as new plant protections. *Agricultural Chemistry*. 2025; (9): 49–59 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S3034496425090067>
24. Peshkov S.A. *et al.* Influence of iron glycinate and its ultrafine particles on the growth and biochemical parameters of *Triticum aestivum* L. seedlings. *Agricultural Chemistry*. 2025; (4): 40–48 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S3034496425040056>
25. Hudz N., Yezerska O., Shanaida M., Horčinová Sedláčková V., Wiecezorek P.P. Application of the Folin-Ciocalteu method to the evaluation of *Salvia sclarea* extracts. *Pharmacia*. 2019; 66(4): 209–215. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.66.e38976>
26. Pérez M., Dominguez-López I., Lamuela-Raventós R.M. The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023; 71(46): 17543–17553. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>
27. Chen H.-h., Zhou J.-h. Systematic Investigation on AlCl₃ Colorimetric Determination of Total Flavonoids in Daylily. *Proceedings of SPIE*. 2022; 12458: 1245804 <https://doi.org/10.1117/12.2660568>
28. Shraim A.M., Ahmed T.A., Rahman M.M., Hijji Y.M. Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*. 2021; 150: 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>
29. Hodges D.M., DeLong J.M., Forney C.F., Prange R.K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 1999; 207(4): 604–611. <https://doi.org/10.1007/s004250050524>
30. Landi M. Commentary to: "Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds" by Hodges et al., *Planta* (1999) 207:604–611. *Planta*. 2017; 245(6): 1067. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2699-3>
31. Kurepa J., Shull T.E., Smalle J.A. Friends in Arms: Flavonoids and the Auxin/Cytokinin Balance in Terrestrialization. *Plants*. 2023; 12(3): 517. <https://doi.org/10.3390/plants12030517>
32. Daryanavard H., Postiglione A.E., Mühlemann J.K., Muday G.K. Flavonols modulate plant development, signaling, and stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*. 2023; 72: 102350. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102350>
33. Tohge T., Fernie A.R. Specialized Metabolites of the Flavonol Class Mediate Root Phototropism and Growth. *Molecular Plant*. 2016; 9(12): 1554–1555. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2016.10.019>
34. Jańczak-Pieniążek M., Migut D., Piechowiak T., Buczek J., Balawejder M. The Effect of Exogenous Application of Quercetin Derivative Solutions on the Course of Physiological and Biochemical Processes in Wheat Seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(13): 6882. <https://doi.org/10.3390/ijms22136882>
35. Dumanović J., Nepovimova E., Natić M., Kuča K., Jačević V. The Significance of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense System in Plants: A Concise Overview. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11: 552969. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.552969>
36. Sharma P., Jha A.B., Dubey R.S., Pessarakli M. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*. 2012; 2012: 217037. <https://doi.org/10.1155/2012/217037>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Алексеевич Пешков¹

кандидат химических наук
Darvin156@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2953-5503>

Алексей Павлович Глинушкин²

доктор сельскохозяйственных наук,
академик РАН
glinale@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1757-0347>

Ольга Вилориевна Кван¹

доктор биологических наук
kwan111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Петр Петрович Муковоз³

доктор химических наук, доцент
mpp27@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7993-476X>

Артем Дмитриевич Степанов¹

аспирант
artema437@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-9799>

¹ Оренбургский государственный университет
им. В.А. Бондаренко,
пр. Победы 13, г. Оренбург, 460018, Россия

² Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН,
Москва, Россия
Ленинский проспект, 47 г. Москва, 119991, Россия

³ Чувашский государственный университет
им. И.Н. Ульянова,
Московский пр-т, д. 15 Чебоксары, 428015, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Alekseevich Peshkov¹

Candidate of Chemical Sciences
Darvin156@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2953-5503>

Alexey Pavlovich Glinushkin²

Doctor of Agricultural Sciences,
Academician of the Russian Academy of Sciences
glinale@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1757-0347>

Olga Vilorievna Kvan^{1,3}

Doctor of Biological Sciences
kwan111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Petr Petrovich Mukovoz³

Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor
mpp27@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7993-476X>

Artem Dmitrievich Stepanov¹

Postgraduate student
artema437@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-9799>

¹ Orenburg State University named after V.A. Bondarenko,
13 Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russia

² N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry of the Russian
Academy of Sciences, Moscow, Russia
47 Leninsky Prospekt, Moscow, 119991, Russia

³ Chuvash State University named after I.N. Ulyanov,
15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russia

17 - 19 СЕНТЯБРЯ 2026

МВЦ «МинводыЭКСПО»
г. Минеральные Воды

PRO ОЗЕЛЕНЕНИЕ & РАСТЕНИЯ

Международная выставка
декоративного питомниководства
и зелёных технологий

2 500+ м² Выставочной
площади100+ Компаний-
участников1 500 Профессионалов
отрасли10+ Стран
участниц

15+

Мероприятий

80+

Топ-спикеров



УДК 635.643:631.527(470.44/47)

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-133-138

О.П. Кигашпаева ✉

А.В. Гулин

Л.П. Лаврова

Г.И. Нестеренко

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства — филиал Прикаспийского аграрного ФНЦ Российской академии наук, Камызяк, Астраханская область, Россия

✉ vniio@mail.ru

Поступила в редакцию: 19.03.2026

Одобрена после рецензирования: 15.07.2026

Принята к публикации: 29.07.2026

© Кигашпаева О.П., Гулин А.В., Лаврова Л.П., Нестеренко Г.И.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-133-138

Olga P. Kigashpaeva ✉

Alexander V. Gulin

Larisa P. Lavrova

Galina I. Nesterenko

All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing — Branch of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kamzyak, Astrakhan region, Russia

✉ vniio@mail.ru

Received by the editorial office: 19.03.2026

Accepted in revised: 15.07.2026

Accepted for publication: 29.07.2026

© Kigashpaeva O.P., Gulin A.V., Lavrova L.P., Nesterenko G.I.

Создание инновационных сортов перца сладкого с высоким репродуктивным потенциалом в условиях Нижнего Поволжья

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Возделывание перца сладкого (*Capsicum annuum* L.), как одной из экономически значимых культур, сопряжено со значительными трудностями. В связи с этим, значимость приобретает селекционная работа, направленная на создание новых генотипов с высоким адаптивным и репродуктивным потенциалом, способных обеспечивать стабильную продуктивность и формировать семена с высокими сортовыми и посевными качествами в условиях воздействия неблагоприятных абиотических факторов.

Методы. Исследования проводились в 2023–2025 гг. на базе Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства — филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН». Объектами исследования служили селекционные линии перца сладкого (*Capsicum annuum* L.). Была проведена комплексная оценка материала, включающая анализ морфологических характеристик растений и плодов, показателей урожайности, биохимического состава, дегустационную оценку, а также расчет коэффициента адаптивности.

Результаты. В ходе исследования были получены и отобраны перспективные линии перца сладкого. Выделенные селекционные линии существенно превышали сорт-стандарт по морфологическим показателям и основным параметрам структуры урожая. Отобрано пять образцов с урожайностью 36,7–50,1 т/га, что превосходит стандарт на 6,1–44,8%. Эти линии характеризуются привлекательными плодами конусовидно-удлиненной формы и являются носителями генетических доноров высокой и стабильной урожайности, а также дружного завязывания и созревания плодов. Коэффициент адаптивности изучаемых образцов приближался к единице, что свидетельствует о высокой адаптивности новых линий. Это подтверждает их высокий потенциал урожайности и устойчивость к биотическим и абиотическим стрессовым факторам, характерным для Астраханской области.

Ключевые слова: перец сладкий (*Capsicum annuum* L.), селекция, инновационные сорта, репродуктивный потенциал, хозяйственно ценные признаки, адаптивность, урожайность

Для цитирования: Кигашпаева О.П., Гулин А.В., Лаврова Л.П., Нестеренко Г.И. Создание инновационных сортов перца сладкого с высоким репродуктивным потенциалом в условиях Нижнего Поволжья. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 133–138. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-133-138>

Development of innovative sweet pepper varieties with high reproductive potential under the conditions of the Lower Volga region

ABSTRACT

Relevance. The cultivation of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), as one of the economically significant crops, is associated with substantial difficulties. In this regard, breeding work aimed at developing new genotypes with high adaptive and reproductive potential, capable of ensuring stable productivity and forming seeds with high varietal and sowing qualities under the influence of adverse abiotic factors, is of paramount importance.

Methods. The studies were conducted between 2023 and 2025 at the All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing. The objects of the study were breeding lines of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). A comprehensive assessment of the material was performed, including the analysis of morphological characteristics of plants and fruits, yield indicators, biochemical composition, organoleptic evaluation, and calculation of the adaptability coefficient.

Results. During the study, promising lines of sweet pepper were obtained and selected. The identified breeding lines significantly exceeded the standard variety in terms of morphological characteristics and key yield structure parameters. Five samples were selected with a yield of 36.7–50.1 t/ha, which surpasses the standard by 6.1–44.8%. These lines are characterized by attractive, elongated-conical fruits and serve as genetic donors for high and stable yields, as well as uniform fruit setting and ripening. The adaptability coefficient of the studied samples approached unity, indicating the high adaptability of the new lines. This confirms their high yield potential and resistance to biotic and abiotic stress factors typical of the Astrakhan region.

Key words: sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), breeding, innovative varieties, reproductive potential, economically valuable traits, adaptability, yield

For citation: Kigashpaeva O.P., Gulin A.V., Lavrova L.P., Nesterenko G.I. Development of innovative sweet pepper varieties with high reproductive potential under the conditions of the Lower Volga region. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 133–138 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-133-138>

Введение/Introduction

Обеспечение продовольственной безопасности регионов России и сохранение высокой рентабельности товарного овощеводства являются важнейшими стратегическими задачами отечественного АПК [1]. Особую актуальность эта проблема приобретает для территории Нижнего Поволжья, являющегося одной из главных зон производства овощей открытого грунта, на фоне нарастающей засушливости, дефицита водных ресурсов и глобальных изменений климата [2, 3].

Выращивание перца сладкого (*Capsicum annuum* L.), как одной из экономически значимых и востребованных диетических культур, сопряжено с существенными трудностями. Высокая популярность перца обусловлена уникальными диетическими свойствами, высоким содержанием минеральных солей, биологически активных веществ, микроэлементов, фитонцидов, витаминов, особенно витамина С [4, 5].

Перец является ценнейшей овощной культурой, обязательным продуктом питания и ценным сырьем для консервной промышленности. Учитывая значимость плодов перца сладкого как источника легкоусвояемых биологически активных веществ, комплексного содержания натуральных витаминов-антиоксидантов, объем его использования постоянно увеличивается [6]. Спрос на перец и продукты его переработки ежегодно возрастает, но удовлетворяется далеко не полностью. Это связано с тем, что еще недостаточно расширяются площади, занятые этой культурой, а ее урожай не везде соответствует современному высокому уровню развития сельхозпроизводства [7]. Нестабильность показателей продуктивности культуры в значительной степени является следствием слабостью устойчивости возделываемых сортов и гибридов к почвенно-климатическим стрессам [8].

Природно-климатические условия Нижнего Поволжья имеют свои особенности — резкие перепады температур, суховеи, атмосферная и почвенная засуха. В таких условиях у большинства стандартных сортов наблюдается нарушение физиологических процессов: угнетение фотосинтеза, стерилизация пыльцы, массовое опадение бутонов, цветков и завязей, а также формирование деформированных плодов и поражение их вершинной гнилью. Это ведет к резкому снижению репродуктивного потенциала и, как следствие, падению урожайности и потери товарного качества продукции, поэтому изучение различного генетического материала перца сладкого имеет важное значение для создания продуктивных сортов, адаптированных к условиям данного региона [9–11].

При создании сортов и гибридов перца сладкого основным селекционным материалом являются генетические ресурсы различного направления. Успех в значительной мере зависит от многообразия признаков ценных генетических источников, которыми обладают имеющиеся в банке данных

сорта. Современные темпы развития рынка потребления овощей диктуют необходимость быстрой сортосмены и расширения разнообразия сортов [12, 13]. Общее направление селекции для всех форм перца — создание урожайных, дружно-созревающих, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессорам, с высоким качеством плодов и различными формой, размером, толщиной стенки, массой и окраской плода [14–16].

Цель исследований — оценить перспективный селекционный материал сладкого перца по основным хозяйственно ценным признакам для отбора лучших образцов в дальнейшей селекционной работе.

Материал и методы исследования / Material and methods

Материалом для исследований являлись селекционные образцы перца сладкого (СЛ-151, СЛ-182, СЛ-183, СЛ-184, СЛ-185), находящиеся в банке доноров ценных хозяйственных признаков, накопленных за несколько десятилетий работы отдела селекции (рис. 1).

Исследования проводили в 2023–2025 гг. во Всероссийском НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства (ВНИИООБ) — филиале ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук».

Опытный участок расположен в городе Камызяк Астраханской области в дельте реки Волга.

Почва участка — аллювиально-луговая, среднесуглинистая, с содержанием гумуса в пахотном слое 1,95 %.

Рис. 1. Перспективные образцы перца сладкого (СЛ-182, СЛ-183, СЛ-184, СЛ-185).
Фото автора О.П. Кигашпаевой

Fig. 1. Promising accessions of sweet pepper (СЛ-182 = SL-182, СЛ-183 = SL-183, СЛ-184 = SL-184, СЛ-185 = SL-185). Photo by O.P. Kigashpaeva



Агротехника состояла из выращивания рассады в теплице на солнечном обогреве с посевом в первой декаде апреля по схеме 3×5 см без пикировки.

В открытый грунт растения высаживали во второй декаде мая по схеме $1,4 \times 0,2$ м. Агротехнические приемы возделывания перцев сладких в открытом грунте — общепринятые в регионе для овощных культур.

Предшественник — залежь.

Основная обработка почвы включала в себя осеннюю вспашку на глубину 0,27–0,30 м, покровное боронование в два следа, культивацию КРН-4,2 (Агротехкомплект, Россия) с нарезкой борозд.

Полив капельным орошением. Нормы и сроки полива корректировались в зависимости от фазы развития растений и метеословий.

За вегетационный период проводили по 2–3 междурядных культивации и ручных прополок в рядках.

Наблюдения, оценка и учеты проводились в соответствии с общепринятыми методиками: оценка устойчивости к болезням — на естественном инфекционном фоне визуально. В течение вегетации проводились фенологические наблюдения, описание, учеты и оценки согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур»¹, «Методические указания по апробации овощных и бахчевых культур»², «Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве»³, «Методика полевого опыта в овощеводстве»⁴, «Руководство по апробации овощных культур и корневых корнеплодов»⁵, «Методики проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность»⁶.

Учет урожая — методом взвешивания с разделением по фракциям согласно «ГОСТ 34325–2017»⁷. Перец сладкий свежий, Технические условия». Содержание сухих веществ в плодах определяли рефрактометрическим методом⁸. Коэффициент адаптивности — согласно «Методики определения коэффициента адаптивности (КА)» по Л. А. Животкову и др.⁹

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа по «Методике полевого опыта»¹⁰.

Климат региона — резко континентальный, с жарким засушливым летом и малоснежной зимой, среднегодовая сумма атмосферных осадков

составляет 170–260 мм, сумма активных температур за вегетационный период составляет 3330–3880 °С.

Метеорологические условия в период проведения исследований значительно отличались от среднемноголетних значений. В первой декаде апреля среднедекадная температура воздуха превышала среднемноголетние (8,8 °С) на 3,4–3,9 °С, несмотря на ночные понижения до 2–3 °С. Во второй и третьей декадах апреля потепление усилилось: ночные температуры стабилизировались на отметке 5–12 °С, дневные достигали 25–27 °С, а превышение нормы в конце месяца составляло от 5,4 до 10,1 °С. Май отличался ветреной, сухой и теплой погодой с плавным повышением температуры до 27–28 °С, вплоть до 31–33 °С к концу месяца. Летний период (июнь–август) характеризовался устойчивой жаркой погодой. Среднемесячная температура июня составляла 23,4–26,3 °С, июля — 27,7–28,4 °С. В августе среднесуточные показатели варьировали в пределах 27,7–28,2 °С с экстремальными дневными максимумами до 35,0 °С, которые к концу месяца опускались до 32,0 °С. Осенью температурный фон начал постепенно снижаться: в первой декаде сентября дневные показатели находились в диапазоне 19,5–28,4 °С (при ночных минимумах 10–15 °С), а во второй и третьей декадах среднесуточная температура установилась на умеренном уровне 15,2–20,0 °С. За вегетационный период (апрель–сентябрь) при среднемноголетней норме 96,3 мм сумма осадков составила: в 2023 году — 143,6 мм, в 2024 году — 14,8 мм, в 2025 году — 74,8 мм. Выпадение осадков по месяцам было неравномерным: в апреле их количество варьировало от 2,1 до 34,0 мм, в мае — от 0,9 до 31,4 мм, в июле — от 0,6 до 38,0 мм, а в июне и августе — 3,1–18,7 мм и 7,1–14,3 мм соответственно.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате многолетней работы селекционерами Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства отобраны пять перспективных линий перца сладкого.

Комплексная оценка новых константных линий проводилась по биометрическим признакам растений и плодов, общей урожайности, товарности и массе плода. Анализ полученных данных

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск четвертый. Картофель, овощные и бахчевые культуры. М.: Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений, 2015; 61.

² Павлов Л.В., Солдатенко А.В. Методические указания по апробации овощных и бахчевых культур. М.: Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2018; 224.

³ Белик В.Ф. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве. М.: Агропромиздат, 1992; 210.

⁴ Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М., 2011; 649.

⁵ Бакулина В.А. и др. Руководство по апробации овощных культур и кормовых корнеплодов. М., 1982; 414.

⁶ Шмаль В.В. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. М., 2005; 119.

⁷ ГОСТ 34325–2017 Перец сладкий свежий. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. — 14 с.

⁸ ГОСТ ISO 2173–2013 Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2019. — 8 с.

⁹ Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности // Селекция и семеноводство. 1994; 2: 3–6.

¹⁰ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014; 351.

показал, что высота растений у представленных образцов составляет от 63,3 до 81,6 см, количество боковых побегов, в основном, 3–4 шт. По морфологическим признакам плодов эти селекционные образцы можно разделить на две группы, три из них: СЛ–182, СЛ–183 и СЛ–185 имеют более длинные плоды — от 20,6 до 21,4 см, от 6,0 до 6,3 см диаметром, а толщина перикарпия у них 0,45–0,60 см. Плоды этих образцов, благодаря таким характеристикам, хорошо подходят для цельноплодного консервирования или квашения. У двух линий: СЛ–151 и СЛ–184 длина плодов короче — 12,8–15,7 см., диаметр 4,5–5,3 см, а толщина стенки перикарпия — 0,35–0,40 см. Сорта с такими характеристиками плодов можно рекомендовать для изготовления паприки — перечно-горошка (Рис. 1).

Окраска плодов изучаемых образцов перца сладкого в технической спелости зеленая разной модификации — от светлой до темной, а в биологической, в основном, красная, кроме Линии СЛ–183 — плоды этого образца при созревании желтые (табл. 1).

Ценность любого сорта определяется комплексом показателей, основные из которых — стабильность по урожайности и экологическая пластичность, сорт должен быть адаптивным к условиям региона его создания и выращивания. По вегетационному периоду представленные образцы относятся к среднеранней и среднеспелой группе. Наиболее высокими показателями общей урожайности характеризовались линии

СЛ–185 и СЛ–182, превзойдя стандартный сорт Подарок Молдовы (34,6 т/га) на 9,6–15,5 т/га. Товарность плодов высокая у всех линий и составляла — от 96,3 до 98,1 %, при этом у стандарта — 90,2%. Самую высокую массу плодов имела линия СЛ–185 (165 г), а самую низкую — линия СЛ–184 (68 г). Одним из ключевых биохимических показателей, определяющих вкусовые качества плодов, является содержание растворимых сухих веществ (Brix). Установлено, что чем выше данный показатель, тем интенсивнее сладкий вкус плодов и продуктов их переработки. У исследуемых образцов содержание растворимых сухих веществ варьировало от 7,8 до 10,0 Brix, что свидетельствует о высоких вкусовых качествах их плодов (табл. 2).

Для внедрения нового сорта в производство важно иметь данные по его семенной продуктивности, т. е. количеству семян, которое растение формирует в одном плоде. Постоянство семенной продуктивности характеризует адаптивные возможности каждого сорта. На семенную продуктивность влияют различные обстоятельства и, прежде всего, это генетические особенности сорта. Для определения семенной продуктивности были взяты плоды в биологической степени созревания по 15 кг каждого изучаемого образца. После выделения, сушки и очистки семена были взвешены. Наиболее продуктивными по выходу семян были образцы СЛ–184, СЛ–185 — превышение в сравнении со стандартным сортом Подарок Молдовы было на 1,6–6,5% (табл. 3).

Таблица 1. Характеристика морфологических признаков растений и плодов селекционных образцов перца сладкого (среднее за 2023–2025 гг.)

Table 1. Morphological characteristics of plants and fruits of sweet pepper breeding samples (average for 2023–2025)

Название образца	Высота главного стебля, м	Количество боковых побегов, шт.	Плод						
			окраска		форма	длина, см	диаметр, см	толщина стенки, см	Кол-во камер, шт.
			в технической	в биологической					
СЛ–182	73,0	3–4	темно-зеленый	красный	конусовидный	20,8	6,0	0,45	2
СЛ–183	63,3	2–3	зеленый	желтый	конусовидный	21,4	6,1	0,50	2
СЛ–185	81,6	3–4	темно-зеленый	красный	конусовидный	20,6	6,3	0,60	2–3
СЛ–151	76,6	3–4	зеленый	красный	конусовидный	15,7	4,5	0,35	3
СЛ–184	69,0	4	темно-зеленый	красный	конусовидный	12,8	5,3	0,40	2–3
Подарок Молдовы (ст.)	66,8	3–4	светло-зеленый	красный	конусовидный	9,6	5,2	0,50	2–3

Таблица 2. Характеристика хозяйственных признаков плодов селекционных образцов перца сладкого (среднее за 2023–2025 гг.)

Table 2. Characteristics of economic traits of sweet pepper breeding samples (average for 2023–2025)

Название образца	Период (суток) от массовых всходов до начала созревания	Общая урожайность, т/га	Товарность, %	Средняя масса плода, г	Показатель Брикс, Brix
СЛ–182	130	50,1	96,4	128	10,0
СЛ–183	131	43,7	98,0	135	9,8
СЛ–185	127	44,2	96,3	165	9,3
СЛ–151	124	40,6	98,1	95	7,8
СЛ–184	132	36,7	97,2	68	8,8
Подарок Молдовы (ст.)	126	34,6	90,2	124	8,2
НСР ₀₅	–	2,0	–	9,7	0,3

Таблица 3. Семенная продуктивность селекционных образцов перца сладкого (среднее за 2023–2025 гг.)

Table 3. Seed productivity of sweet pepper breeding samples (average for 2023–2025)

Название образца	Общая урожайность, т/га	Семенная продуктивность		
		кг/га	кг/т	%
СЛ–182	50,1	82,3	2,1	0,21
СЛ–183	43,7	76,4	2,0	0,20
СЛ–185	44,2	89,7	2,2	0,22
СЛ–151	40,6	86,1	2,2	0,22
СЛ–184	36,7	94,0	3,0	0,30
Подарок Молдовы (ст.)	34,6	88,3	2,9	0,29
НСР ₀₅	2,0	3,5	0,1	–

Таблица 4. Показатели адаптивности перспективных образцов перца сладкого по признаку «урожайность»

Table 4. Adaptability parameters of promising sweet pepper samples based on the “yield” trait

Сорт	Общая урожайность, т/га				Доля урожайности относительно среднесортовой, %				Коэффициент адаптивности			
	2023	2024	2025	среднее за 2023–2025 гг.	2023	2024	2025	среднее за 2023–2025 гг.	2023	2024	2025	среднее за 2023–2025 гг.
СЛ–182	45,6	49,3	55,4	50,1	110,6	119,6	134,4	121,5	1,11	1,20	1,34	1,22
СЛ–183	39,4	43,9	47,8	43,7	95,6	106,5	116,0	106,0	0,96	1,07	1,16	1,17
СЛ–185	43,0	41,7	47,9	44,2	104,4	101,2	116,2	107,3	1,04	1,01	1,16	1,07
СЛ–151	36,5	41,9	43,4	40,6	88,6	101,6	105,3	98,5	0,87	1,02	1,05	0,98
СЛ–184	33,5	35,4	41,2	36,7	81,3	85,9	100,0	80,1	0,81	0,86	1,00	0,89
Подарок Молдовы (ст.)	31,0	34,1	38,7	34,6	75,2	82,7	93,9	83,9	0,75	0,83	0,94	0,84
Среднесортовая урожайность, т/га	38,2	41,1	45,7	41,2	100,0	100,0	100,0	100,0	1,00	1,00	1,00	1,00

Для учета условий выращивания перца сладкого показателем нормы реакции на факторы внешней среды был определен коэффициент адаптивности. Из результатов видно, что показатель адаптивности, в среднем за три года, выше единицы был у линий СЛ–182, СЛ–183 и СЛ–185. У линии СЛ–151 он тоже приближался к единице (от 0,98). Это говорит о том, что они являются наиболее пластичными, высокоадаптивными, также свидетельствует об их устойчивости или толерантности к биотическим и абиотическим стрессовым факторам региона. У линии СЛ–184 коэффициент адаптивности составлял 0,89, а стандарта — 0,84. Это указывает на то, что образцы слабее реагируют на изменения условий среды (табл. 4).

Выводы/Conclusion

По результатам трехлетнего исследования установлено, что выделенные пять перспективных линий сладкого перца обладают высоким уровнем хозяйственно-ценных признаков. Они характеризуются формированием плодов привлекательной конусовидно-удлиненной формы, что соответствует требованиям современного рынка.

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.

Высота растений варьировала от 63,3 до 81,6 см. По комплексу характеристик плодов образцы были разделены на две группы: образцы СЛ–182, СЛ–183 и СЛ–185 выделились как длинноплодные с длиной плода 20,6–21,4 см, диаметром 6,0–6,3 см и толщиной стенки перикарпия 0,45–0,60 см. Линии СЛ–151 и СЛ–184 сформировали группу с более короткими плодами, длина которых составила 12,8–15,7 см, диаметр — 4,5–5,3 см, а толщина стенки перикарпия — 0,35–0,40 см. Продуктивность новых селекционных линий превышала стандартный сорт Подарок Молдовы по общей урожайности на 2,1–15,5 т/га, а по товарности плодов — на 6,1–7,9%. Линии характеризуются дружным созреванием и небольшой толщиной перикарпия. Наивысший выход семян зафиксирован у образцов СЛ–183, СЛ–185, где превышение над стандартом составило 1,6–6,5%.

Анализ адаптивных свойств показал высокую пластичность и устойчивость (толерантность) линий к биотическим и абиотическим стресс-факторам. Учитывая форму, среднюю массу и органолептические качества плодов, они являются перспективными для свежего потребления, цельноплодного консервирования, квашения и производства паприки.

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 выполнения Госзадания по теме № FNMW–2025–0005 «Создать инновационные сорта и гибриды сельскохозяйственных культур с высоким цитогенетическим и репродуктивным потенциалом для орошаемого земледелия аридной зоны Юга России и отработать адаптивные ресурсосберегающие элементы зональных агротехнологий и сортовой агротехники их возделывания» (Рег. № 125012700841–1) программы бюджетного финансирования на 2025–2029 гг. Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

FUNDING

The research was carried out as part of the state assignment on the topic No FNMW–2025–0005 “To create innovative varieties and hybrids of agricultural crops with high cytogenetic and reproductive potential for irrigated agriculture in the arid zone of the South of Russia and to develop adaptive resource-saving elements of zonal agricultural technologies and variety-specific cultivation techniques» (Reg. No 125012700841–1) of the budget financing program for 2025–2029 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Пивоваров В.Ф., Солдатенко А.В., Пышная О.Н., Гуркина Л.К., Пинчук Е.В. Продовольственная независимость и технологический суверенитет России в отрасли овощеводства. *Овощи России*. 2024; (3): 5–17. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-5-17>
- Мещеряков М.П., Болотин Д.А., Мещерякова Е.Г., Веденеева В.А. Влияние технологического процесса передовых способов полива на продуктивность овощных культур в Нижнем Поволжье. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2021; (4): 411–421. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-41>

REFERENCES

- Pivovarov V.F., Soldatenko A.V., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K., Pinchuk E.V. Food independence and technological sovereignty of Russia in the vegetable growing sector. *Vegetable crops of Russia*. 2024; (3): 5–17 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-5-17>
- Meshcheryakov M.P., Bolotin D.A., Meshcheryakova E.G., Vedeneeva V.A. Influence of the technological process of advanced irrigation methods on the productivity of vegetable crops in the Lower Volga Region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2021; (4): 411–421 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-41>

3. Байрамбеков Ш.Б., Полякова Е.В., Анишко М.Ю., Корнева О.Г. Применение фунгицидов при выращивании томата в Астраханской области. *Аграрная наука*. 2019; (S3): 108–111. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-108-111>
4. Kafi A.A., Ferdousi J., Hossain M.I., Islam M.S., Nath D.D. Assessment of nutritional and phytochemical quality in newly developed sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrids compared to check varieties. *Discover Plants*. 2025; 2: 199. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00280-7>
5. Огнев В.В., Чернова Т.В., Костенко А.Н., Гераскина Н.В., Полтавский Н.А. Перец сладкий — стратегия роста. *Картофель и овощи*. 2019; (11): 33–36. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.53.16.008>
6. Тютюма Н.В., Авдеева С.Т. Агробиологическое сортоизучение перца сладкого в условиях светло-каштановых почв Астраханской области. *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2025; (4): 61–64. <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2025-66-4-61-64>
7. Калмыкова Е.В., Петров Н.Ю., Калмыкова О.В. Комплексное обоснование приемов возделывания перца сладкого в условиях меняющегося климата Нижнего Поволжья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020; (2): 130–145. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-02-13>
8. Begna T. Major Challenging Constraints to Crop Production Farming System and Possible Breeding to Overcome the Constraints. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*. 2020; 6(7): 27–46. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0607005>
9. Qiao M., Hong C., Jiao Y., Hou S., Gao H. Impacts of Drought on Photosynthesis in Major Food Crops and the Related Mechanisms of Plant Responses to Drought. *Plants*. 2024; 13(13): 1808. <https://doi.org/10.3390/plants13131808>
10. Ntanasi T. et al. Physiological and Yield Responses of Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes to Drought Stress. *Plants*. 2025; 14(13): 1934. <https://doi.org/10.3390/plants14131934>
11. Гулин А.В., Кигашпаева О.П., Муканов М.В., Джабраилова В.Ю. Перспективные сорта перца сладкого для условий Нижнего Поволжья. *Овощи России*. 2023; (4): 67–72. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-67-72>
12. Пышная О.Н., Джос Е.А. История развития и результаты селекции пасленовых культур в ФГБНУ ФНЦО. *Овощи России*. 2021; (5): 5–10. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-5-10>
13. Адыгезалов М.Б. Изучение гибридизации томатов в условиях апшерона Азербайджанской Республики. *Аграрная наука*. 2021; (3): 81–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-81-84>
14. Sood S. et al. Integrative assessment of yield performance, fruit quality, and marker-assisted selection for bacterial wilt resistance in bell pepper across multiple years *Journal of Crop Improvement*. 2026; 40(2): 95–124. <https://doi.org/10.1080/15427528.2026.2632646>
15. Parisi M., Alioto D., Tripodi P. Overview of Biotic Stresses in Pepper (*Capsicum* spp.): Sources of Genetic Resistance, Molecular Breeding and Genomics. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21(7): 2587. <https://doi.org/10.3390/ijms21072587>
16. Пышная О.Н. и др. Адаптивная способность гибридов F1 перца сладкого в различных эколого-географических зонах. *Таврический вестник аграрной науки*. 2025; (3): 227–248. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17276647>
3. Bairambekov Sh.B., Polyakova E.V., Anishko M.Yu., Korneva O.G. Application of fungicides when growing tomato in the Astrakhan region. *Agrarian science*. 2019; (S3): 108–111 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-108-111>
4. Kafi A.A., Ferdousi J., Hossain M.I., Islam M.S., Nath D.D. Assessment of nutritional and phytochemical quality in newly developed sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrids compared to check varieties. *Discover Plants*. 2025; 2: 199. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00280-7>
5. Ognev V.V., Chernova T.V., Kostenko A.N., Geras'kina N.V., Poltavskii N.A. Sweet pepper — growth strategy. *Potato and Vegetables*. 2019; (11): 33–36 (in Russian). <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.53.16.008>
6. Tyutyuma N.V., Avdeeva S.T. Agrobiological varietal study of sweet pepper breeding in the conditions of light chestnut soils of the Astrakhan region. *Theoretical and Applied Problems of Agro-industry*. 2025; (4): 61–64 (in Russian). <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2025-66-4-61-64>
7. Kalmykova E.V., Petrov N.Yu., Kalmykova O.V. Complex substantiation of cultivation techniques of sweet pepper in the conditions of a changing climate of the Lower Volga region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2020; (2): 130–145 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-02-13>
8. Begna T. Major Challenging Constraints to Crop Production Farming System and Possible Breeding to Overcome the Constraints. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*. 2020; 6(7): 27–46. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0607005>
9. Qiao M., Hong C., Jiao Y., Hou S., Gao H. Impacts of Drought on Photosynthesis in Major Food Crops and the Related Mechanisms of Plant Responses to Drought. *Plants*. 2024; 13(13): 1808. <https://doi.org/10.3390/plants13131808>
10. Ntanasi T. et al. Physiological and Yield Responses of Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes to Drought Stress. *Plants*. 2025; 14(13): 1934. <https://doi.org/10.3390/plants14131934>
11. Gulina A.V., Kigashpayeva O.P., Mukanov M.V., Dzhabrailova V.Yu. Perspective varieties of sweet pepper for the conditions of the Lower Volga region. *Vegetable crops of Russia*. 2023; (4): 67–72 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-67-72>
12. Pyshnaya O.N., Dzhos E.A. History of development and results of selection of *Solanaceae* crops in FSBSI FSVC. *Vegetable crops of Russia*. 2021; (5): 5–10 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-5-10>
13. Adygezalov M.B. Study of the hybridization of tomatoes for productivity and quality in the conditions of absheron of Azerbaijan Republic. *Agrarian science*. 2021; (3): 81–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-81-84>
14. Sood S. et al. Integrative assessment of yield performance, fruit quality, and marker-assisted selection for bacterial wilt resistance in bell pepper across multiple years *Journal of Crop Improvement*. 2026; 40(2): 95–124. <https://doi.org/10.1080/15427528.2026.2632646>
15. Parisi M., Alioto D., Tripodi P. Overview of Biotic Stresses in Pepper (*Capsicum* spp.): Sources of Genetic Resistance, Molecular Breeding and Genomics. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21(7): 2587. <https://doi.org/10.3390/ijms21072587>
16. Pyshnaya O.N. et al. Adaptive ability of F1 sweet pepper hybrids in different ecological and geographical zones. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2025; (3): 227–248 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17276647>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Петровна Кигашпаева

ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук
vniob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4578-6177>

Александр Владимирович Гулин

ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук
vniob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6000-5311>

Лариса Петровна Лаврова

младший научный сотрудник
vniob@mail.ru

Галина Ивановна Нестеренко

младший научный сотрудник
vniob@mail.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства — филиал Прикаспийского аграрного федерального научного центра Российской академии наук,
ул. Любича, 16, г. Камызяк, Астраханская область, 416341, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Petrovna Kigashpaeva

Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences
vniob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4578-6177>

Alexander Vladimirovich Gulina

Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences
vniob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6000-5311>

Larisa Petrovna Lavrova

Junior Research
vniob@mail.ru

Galina Ivanovna Nesterenko

Junior Research
vniob@mail.ru

All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing — Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»,
16 Lyubich st., Kamyzyak, Astrakhan region, 416341, Russia

УДК 632.7

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-139-150

Е.И. Овсянникова ✉

М.Н. Берим

Р.С. Крохалев

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

✉ ovsyannikovae@mail.ru

Поступила в редакцию: 05.03.2026

Одобрена после рецензирования: 15.07.2026

Принята к публикации: 29.07.2026

© Овсянникова Е.И., Берим М.Н., Крохалев Р.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-139-150

Elena I. Ovsyannikova ✉

Marina N. Berim

Roman S. Krokhaliev

All-Russian Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Russia

✉ ovsyannikovae@mail.ru

Received by the editorial office: 05.03.2026

Accepted in revised: 15.07.2026

Accepted for publication: 29.07.2026

© Ovsyannikova E.I., Berim M.N., Krokhaliev R.S.

Применение непараметрических методов статистического анализа для оценки связей видового состава и динамики численности тлей, отловленных ловушками Малеза, с метеорологическими показателями в 2021–2024 гг.

РЕЗЮМЕ

Вследствие высокого потенциала размножения и значительной вредоносности тли обуславливают необходимость постоянного мониторинга. В работе представлена оценка влияния основных абиотических факторов на видовой состав и динамику численности фитофагов, отловленных ловушками Малеза, в условиях Пушкинского района г. Санкт-Петербурга в вегетационные сезоны 2021–2024 гг. с использованием непараметрических методов статистики. Установлено варьирование количества отловленных видов и особей по вегетационным сезонам, при этом выявлено преобладание видов тлей, вредящих сельскохозяйственным культурам (48,8–89,4%). За четыре года исследований отловлено 482 особи, относящиеся к 39 видам. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в 2023 г., наименьшее — в 2021 г. Проведенная статистическая обработка полевых данных показала наличие отличного от нормального распределения как в количестве отловленных видов, так и в числе особей. Применение критериев Фридмана и Уилкоксона позволило установить статистически значимые различия между сезонами по количеству видов и числу особей, что обусловлено преимущественно сниженным отловом в 2021 г. Корреляционный анализ Спирмена выявил сильную положительную связь между среднедекадной температурой воздуха и показателями отлова в 2022–2023 гг., однако не доказал влияние осадков на отлов тлей. Полученные результаты подтверждают применимость непараметрических методов статистики при ненормальном распределении для анализа сезонного отлова тлей в ловушках Малеза.

Ключевые слова: тли, овощной агроценоз, видовой состав, динамика численности, ловушки Малеза

Для цитирования: Овсянникова Е.И., Берим М.Н., Крохалев Р.С. Применение непараметрических методов статистического анализа для оценки связей видового состава и динамики численности тлей, отловленных ловушками Малеза, с метеорологическими показателями в 2021–2024 гг. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 139–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-139-150>

Application of nonparametric statistical analysis methods to assess the relationships between species composition and population dynamics of aphids captured by Malaise traps and meteorological indicators in 2021–2024

ABSTRACT

Aphids, due to their high breeding potential and significant harmfulness, require constant monitoring. The paper presents an assessment of the influence of the main abiotic factors on the species composition and abundance dynamics of phytophages captured by Malaise traps in the Pushkin district of St. Petersburg during the growing seasons of 2021–2024 using nonparametric statistical methods. The variation of the number of captured species and individuals by growing season was established, while the predominance of aphid species harmful to agricultural crops was revealed (48.8–89.4%). During four years of research, 482 individuals belonging to 39 species were captured. The highest species diversity was observed in 2023, while the lowest was observed in 2021. Statistical analysis of field data revealed a non-normal distribution in both the number of species captured and the number of individuals. The use of the Friedman and Wilcoxon signed-rank tests revealed statistically significant differences between seasons in the number of species and the number of individuals, primarily due to reduced capture in 2021. A Spearman correlation analysis revealed a strong positive relationship between the average ten-day air temperature and capture rates in 2022–2023, but did not demonstrate an effect of precipitation on aphid capture. These results confirm the applicability of non-parametric statistical methods for analyzing seasonal aphid capture in Malaise traps, even with non-normal distributions.

Key words: aphids, vegetable agroecosis, species composition, population dynamics, Malaise traps

For citation: Ovsyannikova E.I., Berim M.N., Krokhaliev R.S. Application of nonparametric statistical analysis methods to assess the relationships between species composition and population dynamics of aphids captured by Malaise traps and meteorological indicators in 2021–2024. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 139–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-139-150>

Введение/Introduction

Тли — широко распространенная, многочисленная группа насекомых, обладающая большим потенциалом размножения и высокой вредоносностью. Они повреждают зерновые и овощные культуры, картофель, плодовые деревья и кустарники [1–4]. Известно много дендрофильных видов фитофагов [5]. Вред растениям-хозяевам осуществляется как за счет непосредственного питания на растениях, так и за счет занесения в растительные ткани вирусной инфекции [6, 7]. Только на Северо-Западе России насчитывается более 200 видов тлей. На зерновых культурах в регионе наиболее вредоносна черемухово-злаковая тля *Rhopalosiphum padi* L., питающаяся на молодых листьях, в результате чего растения отстают в росте и развитии [8–11]. При этом урожай зерна может снижаться до 40%. Свеклу, а также бобы существенно повреждает бобовая тля *Aphis fabae* Scop. [12]. На капусте в отдельные годы отмечается повышенная численность капустной тли *Brevicoryne brassicae* L., повреждающей также и другие крестоцветные культуры. Многие виды насекомых встречаются в регионе ежегодно, в отдельные годы наблюдаются вспышки их массового размножения.

В связи с высоким потенциалом размножения и большой вредоносностью тлей важно прогнозирование численности вредителей для своевременного проведения химических обработок. В настоящее время для этой цели применяются различные методы мониторинга тлей: водные желтые ловушки, так называемые чашки Мерике [13, 14], ловушки Малеза [15], желтые клеевые ловушки. В Европе, Америке, Азии для мониторинга видов тлей используются всасывающие ловушки.

Для определения оптимальной даты начала защитных мероприятий против тлей необходимо понимание зависимости их численности от биотических и абиотических факторов, в том числе температуры воздуха и осадков. Обработка полученных материалов статистическими методами позволяет более точно установить эту зависимость, а большое разнообразие методов анализа обуславливает необходимость выбора оптимального метода для получения результатов, имеющих наибольшую практическую значимость.

Целью исследования была оценка влияния основных абиотических факторов на видовой состав и динамику численности тлей в 2021–2024 гг. в Пушкинском районе Санкт-Петербурга с помощью непараметрических методов статистического анализа.

Материал и методы исследования /

Material and methods

Исследования проводились на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР), расположенного

в Пушкинском районе г. Санкт-Петербурга на территории Приневской низменности (местоположение 59°25' с.ш., 30°23' в.д.). Климат низменности умеренный и влажный, переходный от морского к континентальному. Лето короткое, умеренно теплое, зима продолжительная, неустойчивая, с частыми оттепелями. Весна и осень носят затяжной характер. Почвы подзолистые и дерново-подзолистые.

На опытном поле ВИЗР ежегодно выращиваются зерновые культуры, картофель, томаты, баклажаны, белокочанная капуста и кабачки, по периметру поля высажен козлятник восточный. Вокруг поля произрастают хвойные и лиственные растения, а также кустарники ивы и облепихи.

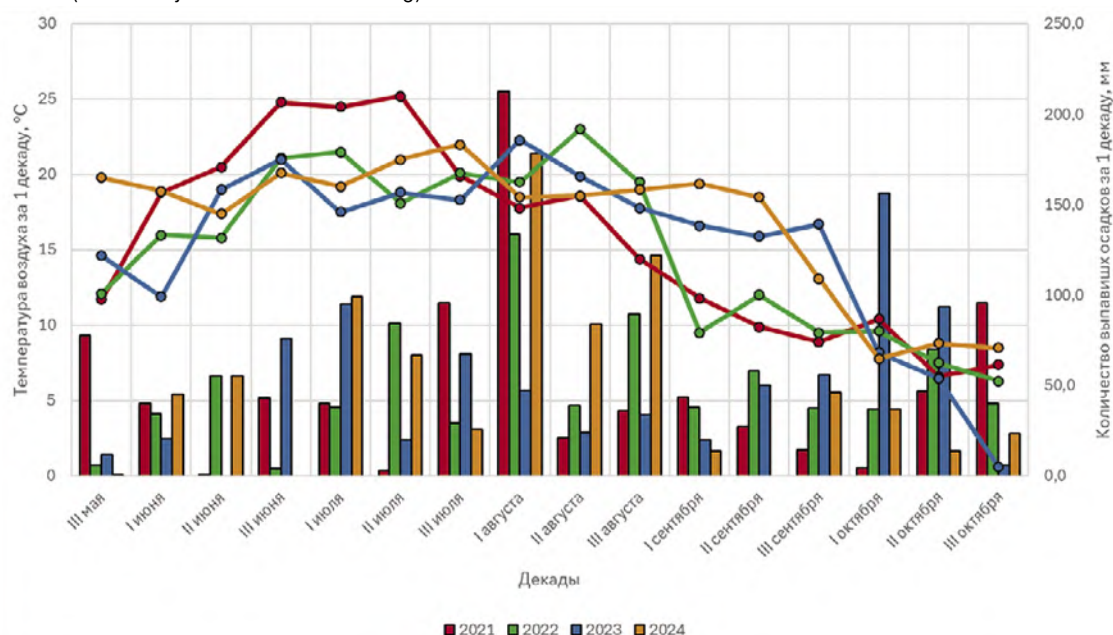
В 2021–2022 гг. на поле была установлена одна ловушка Малеза, в 2023–2024 гг. — две на противоположных концах поля на расстоянии не менее 250 м друг от друга [15]. Материал из ловушек отбирался раз в неделю и фиксировался в 70%-ном этаноле. Последний отбор проб в 2021–2023 гг. проводился в конце первой декады сентября, в 2024 г. — в начале второй декады октября. Снимались ловушки в первой — второй декадах октября. Фиксированные в этаноле насекомые идентифицировались по морфометрическим признакам¹.

После полевой работы была проведена статистическая обработка полученных данных по декадам за четырехлетний период исследований для определения корреляционных связей между численностью видов и особей тлей и погодными факторами (температура и осадки). Для статистического анализа применялся пакет программного обеспечения STATISTICA® 10 (StatSoft, Inc., США). В исследовании рассматривались следующие параметры отлова тлей за каждый вегетационный сезон: количество отловленных видов тлей, суммарное число отловленных особей всех видов, их распределение для выбора метода статистического анализа, средняя температура воздуха и количество выпавших осадков за декаду.

Погодные условия вегетационных сезонов 2021–2024 гг. представлены на рисунке 1.

Как сообщалось ранее [15], температурные показатели за вегетационные периоды 2021–2023 гг. были в целом благоприятны для жизнедеятельности тлей. Они были значительно выше (2021–2022 гг.) или на уровне нормы (2023 г.) при достаточном количестве осадков. В 2024 г. во второй и третьей декадах мая отмечено резкое повышение по сравнению с предыдущими годами проведенных исследований температуры до 18,8–19,8 °С. Подобная температура держалась и в первой декаде июня. Осадков за май выпало минимальное количество — 1,2 мм. Создались благоприятные условия для миграции большинства видов тлей на вторичного хозяина. Июнь был достаточно теплым и влажным: температура воздуха и количество выпавших

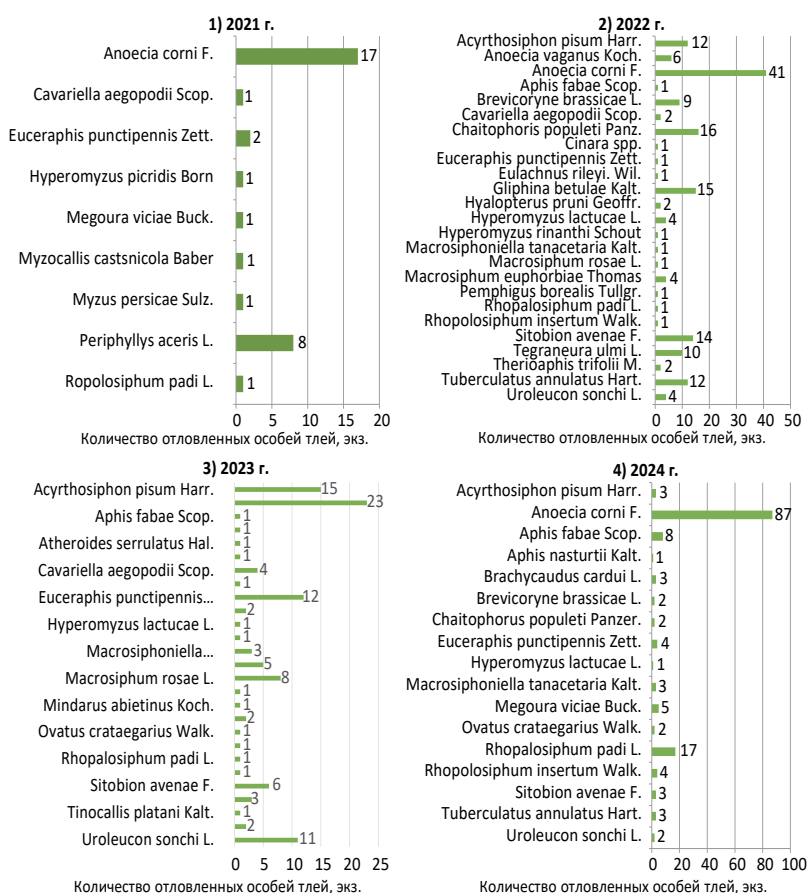
¹ Blackman R.L., Eastop V.F., Natural History Museum (London, England). Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs. Chichester: Wiley; 2006.

Рис. 1. Метеорологические показатели вегетационных сезонов 2021–2024 г. (Пушкинский район г. Санкт-Петербурга)²**Fig. 1.** Meteorological indicators of the growing seasons 2021–2024 (Pushkinsky district of St. Petersburg)²

осадков составило 17,4–20,1 °C и 0,0–55,3 мм соответственно. Среднедекадные показатели температуры воздуха июля и августа характеризовались умеренными значениями (18,5–21,0 °C) с достаточным (13,6–66,7) и местами избыточным увлажнением (122,0 мм в третьей декаде августа и 178,4 мм — в первой декаде того же месяца). В сентябре наблюдалось значительное повышение температуры (19,4 °C в первой декаде) по сравнению с предыдущими годами (9,5–16,6 °C) при одновременном снижении количества выпавших осадков до нуля. Большое количество дождей, которое наблюдалось в течение вегетационного сезона 2024 г., снижало активность питания и поведения насекомых.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

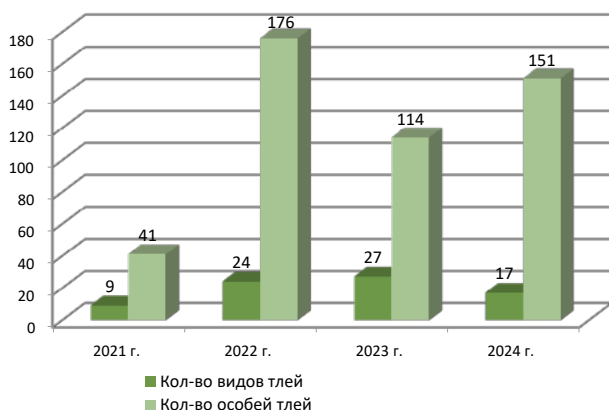
Мониторинг тлей, проведенный в течение четырех вегетационных сезонов показал, что наибольшее количество видов выявлено в 2023 г. — 27; в 2024 г. и в 2022 г. их было 17 и 25, наименьшее количество в 2021 г. — 9 (рис. 2, 3).

Рис. 2. Видовой состав тлей, отловленных за вегетационные периоды в 2021–2024 гг. (1-2021 год, 2-2022, 3-2023, 4-2024) (опытное поле ВИЗР, Пушкинский район г. Санкт-Петербурга)**Fig. 2.** Species composition of aphids caught during the growing seasons in 2021–2024 (1-2021 год, 2-2022, 3-2023, 4-2024) (VIZR experimental field, Pushkinsky district, St. Petersburg)

² Погода в Санкт-Петербурге — климатический монитор [Интернет]. Pogodaiklimat.ru. 2026 [посещено 25.11.2025].
Доступно на: <https://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26063>.

Рис. 3. Количество видов и особей тлей за вегетационные периоды 2021–2024 гг. (опытное поле ВИЗР, Пушкинский район г. Санкт-Петербурга)

Fig. 3. Number of aphid species and individuals during the growing seasons 2021–2024 (VIZR experimental field, Pushkinsky district, St. Petersburg)



Большее количество особей фитофагов отмечено в 2022 и 2024 гг. (176 и 151, соответственно), в 2023 г. — 114 и в 2021 г. — 41.

Ловушками Малеза в 2024 г. было отловлено 17 видов тлей, 151 особь. Насекомые в ловушках отмечались, начиная с III декады мая. В наибольшем количестве встречались серая свидинно-злаковая и черемухово-злаковая тли (табл. 1). Отмечено два вида, не наблюдавшиеся в предыдущих годах исследований: чертополоховая и крушинная тли. Оба вида повреждают культурные растения.

Всего за четырехлетний период исследований ловушками Малеза было выловлено и идентифицировано 39 видов тлей и 482 особи.

Из рис. 4 видно, что выловленные и идентифицированные насекомые являются преимущественно вредителями сельскохозяйственных растений (48,8–89,4%), в 2024 г. их процент составлял 89,4% от общего количества отмеченных тлей. В 2021 г. отмечен высокий процент отловленных дендрофильных видов тлей — 48,8% по сравнению с другими годами. Наибольший процент тлей, питающихся на сорной растительности, выявлен в 2023 г. — 16,2%, тогда как в другие годы исследований он был на одном уровне (2,4–4,6%).

Численность фитофагов на протяжении вегетационных сезонов по годам заметно варьировала (рис. 5). Так, в 2021 г. наибольшая численность тлей наблюдалась в мае, в 2022 г. большое количество насекомых было выявлено в июне. В 2024 г. значительное количество

тлей отмечено в июле и сентябре, в 2023 г. — в августе.

Для оценки связи между результатами отлова тлей в ловушки и погодными факторами за четырехлетний период исследований была проведена статистическая обработка результатов по декадам. Чтобы обосновать применимость стандартных параметрических методов, для проверки нормальности распределения применялся критерий Шапиро-Уилка W [16]. Необходимость данного этапа обработки первичных данных обусловлена тем фактом, что в последние годы зарубежными авторами отмечается широкое распространение распределения, отличное от нормального, в биологических исследованиях [17, 18], в том числе энтомологических [18–21]. Результаты анализа показали статистически значимые отклонения от нормального распределения для всех полученных данных ($W = 0,55871 - 0,88657$, $p < \alpha$, при $\alpha = 0,05$), что связано с двумя причинами — часто наблюдаемыми нулевыми отловами за декаду и крайне выраженной положительной асимметрией первичных результатов учетов в начале вегетационного сезона (III декада мая — II декада июня). Вследствие отклонения нулевой гипотезы

Рис. 4. Количество особей тлей, выловленных ловушками Малеза по группам в 2021–2024 гг. (опытное поле ВИЗР, Пушкинский район г. Санкт-Петербурга)

Fig. 4. Number of aphids caught by Malaise traps in groups in 2021–2024 (VIZR experimental field, Pushkinsky district, St. Petersburg)

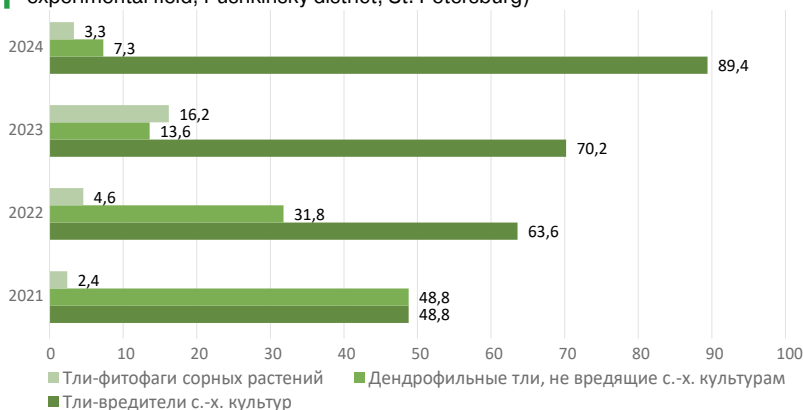
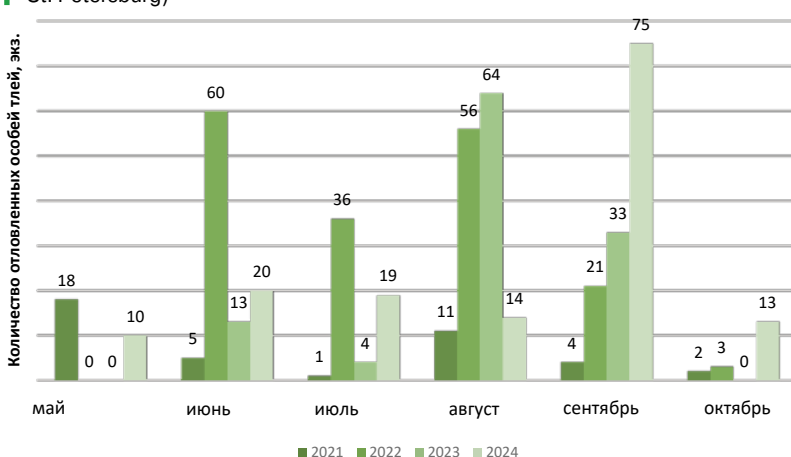


Рис. 5. Динамика численности тлей, отловленных ловушками Малеза на протяжении вегетационных периодов 2021–2024 гг. (опытное поле ВИЗР, Пушкинский район г. Санкт-Петербурга)

Fig. 5. Dynamics of the number of aphids caught by Malaise traps during the growing seasons of 2021–2024 (VIZR experimental field, Pushkinsky district, St. Petersburg)



о нормальности полевых данных обоснованно были применены непараметрические методы, которые не зависят от типа распределения.

Для сравнения количественных показателей отлова тлей по всем вегетационным периодам был применен аналог однофакторного дисперсионного анализа — непараметрический ранговый критерий Фридмана Q , суть которого заключается в 1) ранжировке данных каждого года исследований, 2) присвоении ранга наблюдениям и суммирования рангов по годам, 3) вычислении общего среднего ранга и 4) расчета критерия по формуле

$$Q = \left[\frac{12}{nk(k+1)} \right] \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3n(k+1),$$

где n — количество наблюдений за каждый год, k — количество исследуемых лет, R_j — сумма рангов всех наблюдений за j -ый год³. Результаты расчетов для сравнения количества отловленных тлей показали статистически значимые различия между всеми вегетационными сезонами исследований (табл. 1, рис. 6).

Из полученных результатов и диаграммы размаха видно, что отлов в вегетационном сезоне 2021 г. значительно отличается от таковых в последующие годы — средний ранг (1,75) и сумма рангов (28,0) данного года исследований меньше показателей других лет исследований (средние ранги — 2,66–2,87, суммы рангов — 42,5–46,0).

Парное сравнение количества отловленных видов в вегетационном периоде 2021 г. с другими сезонами было проведено с применением непараметрической альтернативы t -критерия парных сравнений — критерия Уилкоксона, расчет которого заключается в 1) вычислении абсолютной разности наблюдений двух лет исследований, 2) ранжировке полученных чисел по убыванию, 3) разделению рангов по знаку и 4) вычислению критерия Уилкоксона по формуле

$$W = \sum_{i=1}^n R_i \psi_i,$$

где: W — критерий Уилкоксона, n — число наблюдений за один год исследований, R_i — ранг абсолютной разности наблюдений двух лет исследований, ψ_i — знак разности (1, если разность наблюдений положительна, 0 — если отрицательна)³. Вычисление критерия доказало существенные попарные различия в количестве отловленных видов тлей между сезоном 2021 г. и другими ($p < \alpha$) (табл. 2).

Данными методами также было проведено сравнение вегетационных сезонов по числу отловленных особей, которое показало иные результаты — статистически значимые различия в отлове между сезонами по критерию Фридмана не были выявлены ($p > 0,5$) (табл. 3). Однако более низкие значения рангов в 2021 г. (средний ранг — 1,93, сумма рангов — 31) снова обусловили необходимость последующего попарного сравнения

Таблица 1. Результаты сравнения количества отловленных видов тлей вегетационных периодов 2021–2024 гг. по непараметрическому ранговому критерию Фридмана Q . Все проверки проведены при уровне значимости , полужирным выделены статистически значимые различия.

Table 1. Results of comparison of the number of captured aphid species in the growing seasons of 2021–2024 according to the nonparametric Friedman rank criterion Q . All tests were carried out at a significance level of , statistically significant differences are highlighted in bold.

Год	Средний ранг	Сумма рангов	Ранговый критерий Фридмана Q	p
2021	1,75	28,0	8,82	0,03175
2022	2,72	43,5		
2023	2,66	42,5		
2024	2,87	46,0		

Рис. 6. Диаграмма размаха сравнения количества отловленных видов тлей в вегетационных периодах 2021–2024 гг. по непараметрическому ранговому критерию Фридмана Q

Fig. 6. Range diagram of the comparison of the number of aphid species caught in the growing seasons 2021–2024 according to the nonparametric Friedman rank criterion Q

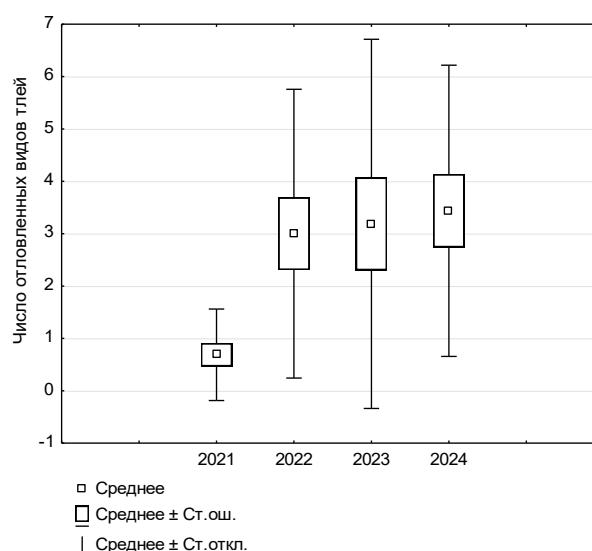


Таблица 2. Результаты сравнения количества отловленных тлей в вегетационном сезоне 2021 г. с 2022–2024 гг. по критерию Уилкоксона. Все проверки проведены при уровне значимости $\alpha = 0,05$, полужирным выделены статистически значимые различия. Для упрощения значение критерия Уилкоксона не приведены.

Table 2. Results of comparison of the number of aphids caught in the 2021 growing season from 2022–2024 according to the Wilcoxon criterion. All tests were carried out at a significance level of $\alpha = 0.05$, statistically significant differences are highlighted in bold. For simplicity, the meaning of the Wilcoxon criterion is not given.

Сравнение	Число ненулевых наблюдений	p
2021 с 2022	14	0,0076
2021 с 2023	13	0,0131
2021 с 2024	13	0,0037

³ Corder G.W., Foreman D.I. Nonparametric statistics for non-statisticians: a step-by-step approach. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2009; 247.

по критерию Уилкоксона, которое доказало статистически существенную разницу по числу отловленных особей тлей между вегетационным сезоном 2021 г. и другими ($p < 0,5$), за исключением сезона 2023 г. ($p > 0,5$) (рис. 7, табл. 4). Это не противоречит данным, полученным после применения критерия Фридмана, поскольку он выявляет различия только на общем уровне, вследствие чего для частных парных сравнений требуется применение иных непараметрических методов.

Таким образом, отлов тлей в ловушки Малеза в вегетационном сезоне 2021 г. статистически существенно отличался от таковых в последующие периоды исследований, в то время как отловы в сезонах 2022, 2023 и 2024 гг. не отличаются между собой как по количеству видов, так и по числу особей.

Для определения корреляционных связей между данными по отлову тлей и метеорологическими показателями за одну декаду (температура воздуха и количество выпавших осадков) при ненормальном распределении был использован непараметрический аналог коэффициента корреляции Пирсона — ранговый коэффициент корреляции Спирмена R , который использует про ранжированные ряды наблюдений независимой (метеорологические условия) и зависимой (показатели отлова тлей) переменной и рассчитывается по формуле

$$R = \frac{6 \sum_{i=1}^n (S_i - r_i)^2}{n^3 - 1},$$

где: n — количество наблюдений за год исследований, r_i — ранг наблюдения в вариационном ряду независимой переменной, S_i — ранг наблюдения в вариационном ряду зависимой переменной³. Результаты полученных данных для количества отловленных видов тлей представлены в табл. 5.

Среднедекадная температура воздуха оказывала статистическое значимое влияние на количество отловленных видов тлей в 2022 и 2023 гг. ($p < 0,01$; $p < 0,05$). Сила связи между переменными в эти годы оказалась положительной и сильно выраженной ($R > 0$; $R = 0,737 - 0,829$), что говорит о возможной линейно зависимой связи между температурой воздуха и количеством отловленных видов тлей в вегетационные периоды данных лет. Для 2021 и 2024 гг. корреляционная связь положительна и для 2021 г. она слабая, для 2024 г. — умеренная ($R > 0$; $R = 0,134 - 0,486$), но при этом статистически значимой корреляции между переменными не было выявлено ($p > 0,5$). Данные результаты визуально подтверждаются на диаграммах рассеяния (рис. 8), где в случае 2021 г. можно заметить, что через большинство точек наблюдений можно провести две прямые линии, которые будут соответствовать отсутствию отлова (0) и отлову одного вида тлей (1) вне зависимости от температуры воздуха за 1 декаду, которые, тем не менее, не образуют единой направленной связи. В 2022 г.

Таблица 3. Результаты сравнения числа отловленных особей тлей вегетационных периодов 2021–2023 гг. по непараметрическому ранговому критерию Фридмана Q . Все проверки проведены при уровне значимости $\alpha = 0,05$, полужирным выделены статистически значимые различия.

Table 3. Results of comparison of the number of captured aphids in the growing seasons of 2021–2023 according to the nonparametric Friedman rank criterion Q . All tests were carried out at the significance level $\alpha = 0.05$, statistically significant differences are highlighted in bold.

Год	Средний ранг	Сумма рангов	Ранговый критерий Фридмана Q	p
2021	1,93	31,00	7,13	0,09
2022	3,06	49,00		
2023	2,43	39,00		
2024	2,56	41,00		

Рис. 7. Диаграмма размаха сравнения числа отловленных особей тлей вегетационных периодов 2021–2024 гг. по непараметрическому ранговому критерию Фридмана Q

Fig. 7. Diagram of the range of comparison of the number of captured aphids in the growing seasons of 2021–2024 according to the nonparametric Friedman rank criterion Q

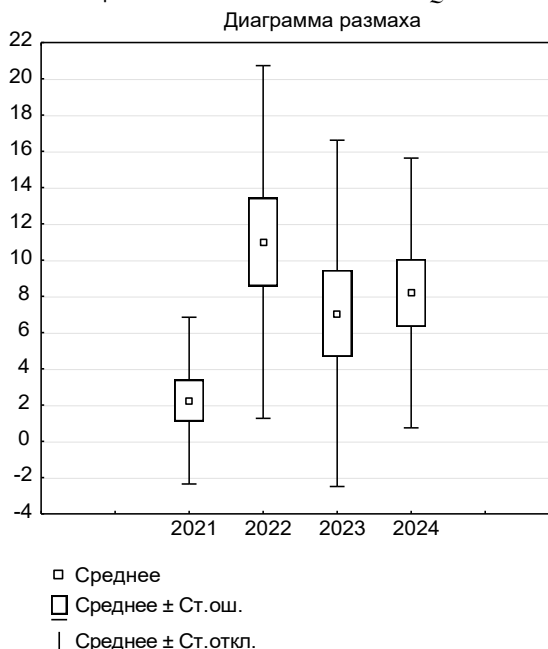


Таблица 4. Результаты сравнения количества отловленных особей тлей в вегетационном сезоне 2021 г. с 2022–2024 гг. Все проверки проведены при уровне значимости $\alpha = 0,05$, полужирным выделены статистически значимые различия. Для упрощения значение критерия Уилкоксона не приведено.

Table 4. Results of comparison of the number of aphids caught in the growing season of 2021 from 2022–2024 All tests were carried out at a significance level of $\alpha = 0,05$, statistically significant differences were highlighted in bold. For simplicity, the value of the Wilcoxon criterion is not given.

Сравнение	Число ненулевых наблюдений	p
2021 с 2022	14	0,0157
2021 с 2023	13	0,0546
2021 с 2024	15	0,0331

наблюдается возрастание количества отловленных видов тлей при повышении среднедекадной температуры воздуха почти по прямой траектории, за исключением выбросов в верхней и нижней части графика. Для 2023 г. данная тенденция менее

выражена из-за большого количества выбросов — 7. В 2024 г. линия регрессии имеет меньший угол наклона, чем в 2022 и 2023 гг., что связано с меньшим коэффициентом корреляции в 1,5–1,7 раза. Таким образом, отловы видов тлей в вегетационном сезоне 2021 и 2024 гг. не имеют линейной связи с повышенными температурами воздуха за декаду, что означает либо более сильное влияние других факторов (абиотических и биотических), либо наличие иной, отличной от линейной зависимости. Для 2022 и 2023 гг. корреляционная связь статистически обоснована, несмотря на разные значения температуры и отклонения от модели зависимости, поэтому для данных вегетационных периодов возможно применение регрессионных моделей для прогнозирования количества видов тлей.

При проведении корреляционного анализа для установления связи между количеством видов тлей и суммой выпавших осадков за декаду было установлено, что ни за один год исследований корреляционная связь была статистически значимой ($p = 0,490 - 0,978$; $p > \alpha$), несмотря на положительный слабый характер связи в 2021 и 2022 гг. ($R > 0$; $R = 0,007 - 0,186$) и отрицательный слабый — в 2023 и 2024 гг. ($R < 0$; $R = -0,118 - 0,141$). Диаграммы рассеяния (рис. 9) позволяют объяснить причины данных результатов — в частности, в 2021 г. большинство данных концентрируется в одной области в левой нижней части графика, что соответствует отсутствию отлова или отлову только 1 вида тлей. В 2022 и 2024 гг. основная масса наблюдений распределена хаотично, без определенной связи, а в 2023 г. можно заметить отдельную группу из 5 наблюдений в левой нижней части рисунка (число особей равняется 0). Широкие доверительные интервалы (0,95) для всех случаев охватывают хаотично разбросанные наблюдения и подтверждают высокую неопределенность связей, что согласуется с статистической незначимостью коэффициентов корреляции Спирмена ($p > \alpha$) и фактически на несущественность влияния количества выпавших осадков на видовое разнообразие тлей в вегетационных периодах.

Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена для определения связей между

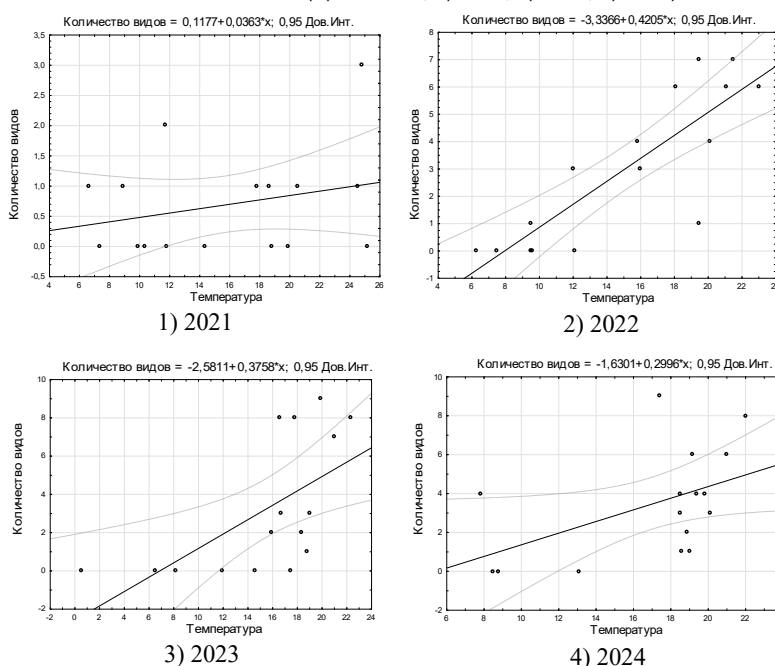
Таблица 5. Результаты корреляционного анализа с применением коэффициента корреляции Спирмена R для определения связей между количеством отловленных видов тлей и метеорологических показателями 2021–2024 гг. Все проверки проведены при уровне значимости $\alpha = 0,05$, полужирным выделены статистически значимые различия.

Table 5. Results of correlation analysis using Spearman's R correlation coefficient to determine the relationship between the number of aphid species caught and meteorological indicators 2021–2024. All tests were carried out at a significance level of $\alpha = 0.05$, statistically significant differences are highlighted in bold.

Метеорологический показатель	Годы							
	2021		2022		2023		2024	
	R	p	R	p	R	p	R	p
Средняя температура воздуха за 1 декаду	0,134	0,620	0,829	< 0,01	0,737	< 0,01	0,486	0,056
Количество выпавших осадков за 1 декаду	0,107	0,693	0,186	0,490	-0,141	0,602	0,007	0,978

Рис. 8. Диаграммы рассеяния количества отловленных видов тлей в ловушки Малеза по среднедекадной температуре воздуха в вегетационные сезоны 2021–2024 гг. Точками отмечены отдельные наблюдения количества видов тлей при разной температуре, сплошной линией обозначена линия регрессии, пунктирными линиями — регрессионные границы при уровне доверительного интервала, равного 0,95 (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).

Fig. 8. Scatter diagrams of the number of aphid species caught in Malaise traps by ten-day mean air temperature in the growing seasons 2021–2024. Dots indicate individual observations of the number of aphid species at different temperatures, a solid line indicates a regression line, dotted lines indicate regression boundaries at a confidence interval level of 0.95 (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).



числом отловленных ловушками Малеза особей тлей и метеорологическими показателями за одну декаду показал аналогичные результаты (табл. 6). Так, для вегетационных сезонов 2022 и 2023 гг. выявлены статистически значимые положительные и сильно выраженные связи между средней температурой воздуха за 1 декаду и числом отловленных особей ($R > 0$; $R = 0,643 - 0,768$; $p < 0,05$), в то время как для сезонов 2021 и 2024 гг. анализ не подтвердил наличие сильной и значимой связи между данными показателями ($R < 0$; $R = -0,076 - 0,142$; $p > 0,05$). Диаграммы рассеяния (рис. 5) подтверждают результаты вычислений — если для 2022 и 2023 гг. практически выражена линейная зависимость с небольшим количеством отклонений от доверительного

интервала (4–7 наблюдений), то для 2021 и 2024 гг. точки распределены без явно выраженного тренда при большем доверительном интервале.

При анализе корреляционной связи между числом отловленных особей тлей и общим количеством выпавших осадков за 1 декаду (см. табл. 6) для всех вегетационных сезонов было установлено отсутствие статистически значимых результатов ($p > 0,05$) при положительной слабой связи в 2021 и 2022 гг. ($R > 0$; $R = 0,130 - 0,178$) и отрицательной слабой — в 2023 и 2024 гг. ($R < 0$; $R = -0,118 - 0,137$). Визуальный анализ диаграмм рассеяния (рис. 11) также не выявил четко выраженной зависимости: наблюдения либо концентрируются в одной области (случай 2021 г.), либо беспорядочно разбросаны по всему графику (остальные случаи) при охвате практически всего диапазона возможных значений, что может соответствовать отсутствию статистической значимости при 95%-ном доверительном интервале.

Таким образом, применение рангового коэффициента корреляции Спирмена показало существование статистически обоснованной положительной сильной связи между среднедекадной температурой воздуха и количественными показателями отлова тлей в ловушки Малеза в 2022 и 2023 гг. ($R > 0$; $R = 0,643 - 0,829$; $p < 0,05$), что наглядно подтверждается диаграммами рассеяния (см. рис. 8, 10). В то же время для количества выпавших осадков да одну декаду статистически значимых корреляций не было выявлено ни за один вегетационный сезон ($p > 0,05$), что говорит об отсутствии зависимости между отловом тлей и данным метеорологическим показателем для исследуемых лет. Полученные результаты противоречат данным Ройк и др., которые установили только одну статистически значимую зависимость — увеличение численности популяции по мере уменьшения количества осадков, что связано с иным типом ловушки (всасывающая ловушка Джонсона) и выбором только одного объекта — черемухово-злаковой тли [22].

Из полученных результатов статистического анализа можно вывести несколько следствий. Во-первых, при мониторинге тлей необходимо учитывать, как распределены первичные данные

Рис. 9. Диаграммы рассеяния количества отловленных видов тлей в ловушки Малеза по количеству выпавших осадков за декаду в вегетационные сезоны 2021–2024 гг. (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).

Fig. 9. Scatter plots of the number of aphid species caught in Malaise traps by precipitation per decade in the growing seasons 2021–2024. (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).

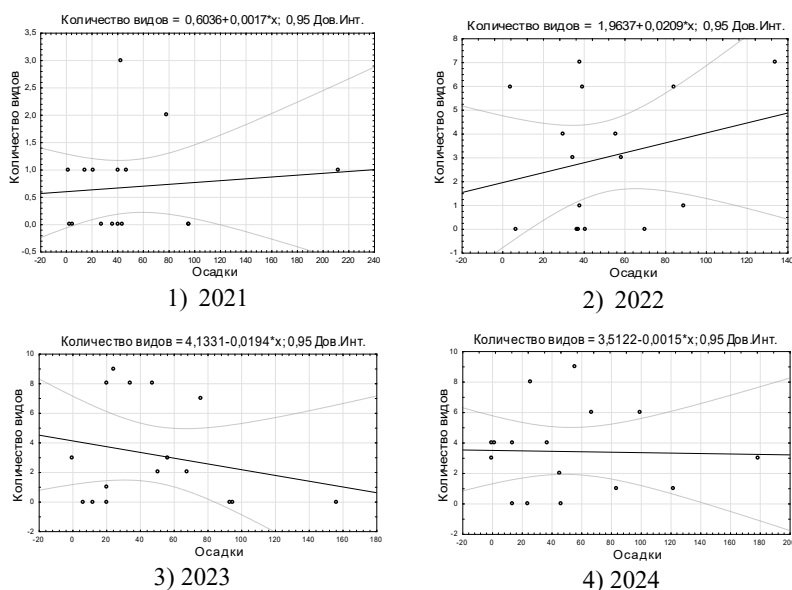


Таблица 6. Результаты корреляционного анализа с применением коэффициента корреляции Спирмена R для определения связей между количеством отловленных видов тлей и метеорологическими показателями 2021–2024 гг. Все проверки проведены при уровне значимости $\alpha = 0,05$, полужирным выделены статистически значимые различия.

Table 6. Results of correlation analysis using Spearman's R correlation coefficient R to determine the relationship between the number of aphid species caught and meteorological indicators 2021–2024. All tests were carried out at a significance level of $\alpha = 0.05$, statistically significant differences are highlighted in bold.

Метеорологический показатель	2021 г.		2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	R	p	R	p	R	p	R	p
Средняя температура воздуха за 1 декаду	-0,076	0,779	0,768	<0,01	0,643	<0,01	0,142	0,599
Количество выпавших осадков за 1 декаду	0,178	0,509	0,130	0,631	-0,137	0,613	-0,118	0,662

по отлову, поскольку применение параметрических методов в случае распределения, отличного от нормального, может привести к смещенной оценке экологических факторов и поставить под угрозу достоверность научных выводов. Это было показано Силешем в 2007 г. при сравнении нескольких моделей для обеспечения достоверных статистических выводов. Доказано, что нулевые отловы и неоднородность дисперсии данных являются распространенными явлениями в подсчете данных отлова насекомых, вследствие чего необходимо применение непараметрических методов [23]. В отечественных публикациях проверка на нормальность распределения при изучении экологических особенностей тлей обычно исследователями не проводится, поскольку авторы полагают, что распределение является гауссовским по умолчанию, поэтому применяют классические критерии для исследований, например, t -критерий Стьюдента, корреляционный анализ Пирсона и др. [24]. Необходимо дать рекомендацию

Рис. 10. Диаграммы рассеяния числа отловленных особей тлей в ловушки Малеза по среднедекадной температуре воздуха в вегетационные сезоны 2021–2024 гг. Точками отмечены отдельные наблюдения количества видов тлей при разной температуре, сплошной линией обозначена линия регрессии, пунктирными линиями — регрессионные границы при уровне доверительного интервала, равного 0,95. (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).

Fig. 10. Scatter diagrams of the number of aphids caught in Malaise traps according to the ten-day mean air temperature in the growing seasons 2021–2024. Dots indicate individual observations of the number of aphid species at different temperatures, a solid line indicates a regression line, dotted lines indicate regression boundaries at a confidence interval level of 0.95. (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).

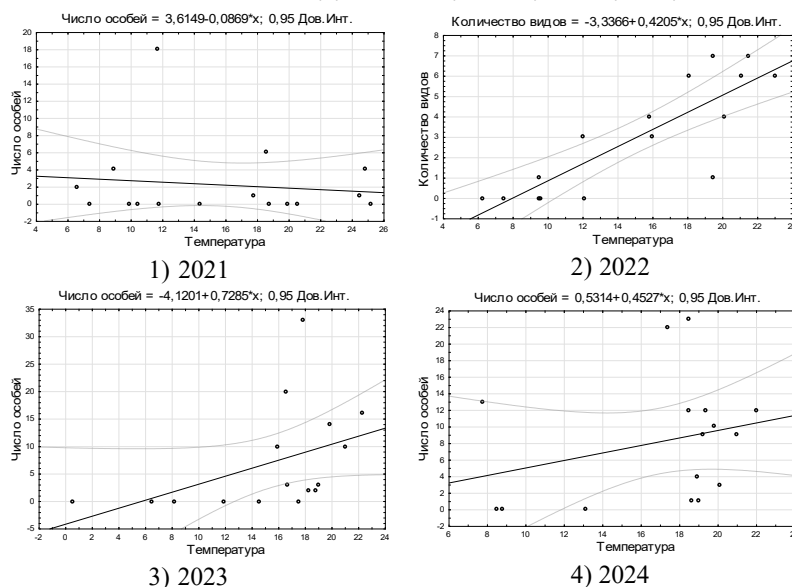
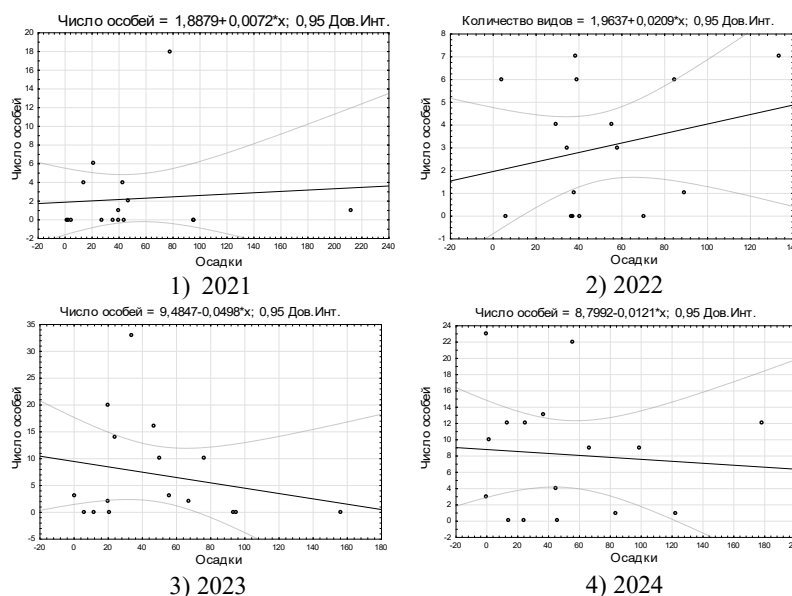


Рис. 11. Диаграммы рассеяния числа отловленных особей тлей в ловушки Малеза по количеству выпавших осадков за декаду в вегетационные сезоны 2021–2024 гг. (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).

Fig. 11. Scatter plots of the number of aphids caught in Malaise traps by the amount of precipitation per decade in the growing seasons 2021–2024. (1) 2021 год, 2) 2022, 3) 2023, 4) 2024).



проводить проверку на нормальность первичных данных мониторинга для выбора корректного метода статистического анализа.

Во-вторых, по критерию Уилкоксона было установлено, что отловы в вегетационном сезоне 2021 г. существенно отличаются от таковых в 2022–2024 гг. В данном случае разница объясняется тем, что в этом году на исследуемом участке

была установлена только одна ловушка Малеза, в связи с чем выборка была значительно меньше, чем в последующие вегетационные периоды. Также в I декаде июня 2021 г. была зафиксирована повышенная температура воздуха по сравнению с остальными сезонами ($18,8^\circ\text{C}$), что могло способствовать снижению летной активности крылатых форм тлей и в дальнейшем повлиять на отлов в ловушки. Это не противоречит данным, полученным в результате корреляционного анализа Спирмена — в аналитическом обзоре, посвященном миграциям тлей, Пэрри показывает возможность подавления или на прекращение лета тлей при высоких температурах [25]. Помимо этого, на сниженный отлов могло повлиять небольшое число отложенных осенью яиц в предыдущем году, что было доказано на примере черемухово-злаковой тли [26].

Во-третьих, несмотря на наличие положительной связи между отловами тлей и в вегетационных сезонах 2022 и 2023 гг., существенная разница между отловами тлей в 2022–2024 гг. по критерию Фридмана не была установлена. Необходимо признать ограниченность методов непараметрической статистики, которые способны только доказывать наличие или отсутствие разницы между отловами, но не объяснять причины полученных результатов. В реальном агробиоценозе, помимо температуры воздуха, на отлов тлей ловушками Малеза влияет большое количество других взаимосвязанных факторов, начиная от абиотических (например, от ГТК [27]) и биотических (в частности, энтомофагов [28]) и заканчивая антропогенными — применение регуляторов роста [29] и близкое расположение высоковольтных линий электропередач к агробиоценозу [30]. Комплексность действующих факторов на плотность популяций усложняет объяснение причин, обуславливающих результаты отлова тлей. Кроме того, как говорилось выше, непараметрическая корреляционная зависимость двух выбранных факторов среды может иметь нелинейную форму. Вследствие ограниченности периода

исследования (только 4 года) маловероятно, что при анализе нелинейная корреляционная связь будет иметь прогностическое значение — в подобных случаях необходимо проведение исследований как минимум 15 лет [17], поэтому в дальнейшем исследования будут продолжены.

Таким образом, исследование показало применимость непараметрических методов статистической обработки при распределении, отличном от нормального для анализа сезонного отлова тлей в ловушки Малеза. В дальнейшем на основе полученных результатов планируется создание прогностической модели с использованием более глубоких методов анализа для применения в мониторинге тлей-вредителей сельскохозяйственных культур в овощных агроценозах.

Выводы/Conclusion

В условиях овощного агроценоза опытного поля ВИЗР (Пушкинский район г. Санкт-Петербурга) были применены ловушки Малеза с целью мониторинга видового состава и динамики численности тлей в 2021–2024 гг. Выявлено, что количество отловленных видов за четыре года проведения исследований варьировало от 9 до 27, а особей — от 41 до 176. За весь период исследований было отловлено и идентифицировано 482 особи, относящихся к 39 видам тлей. В 2024 году наблюдались два ранее не встречавшиеся вида — чертополоховая и крушинная тли.

Определено, что подавляющее большинство особей тлей идентифицированы как вредители

сельскохозяйственных культур (48,8–89,4%), в то время как дендрофильные виды, не являющиеся вредителями, составили от общего отлова 7,3–48,8%. Отмечена наименьшая доля в общем отлове у тлей-фитофагов сорных растений (2,4–16,2%).

Установлено, что количество всех отловленных тлей на протяжении вегетационных сезонов варьировала по годам — в 2021 г. наибольшая численность насекомых наблюдалась в мае, в 2022 г. — в июне, в 2023 г. — в октябре, в 2024 г. — в сентябре.

Для проведения статистической обработки результатов была осуществлена проверка данных на нормальность распределения, которая была необходима для выбора подходящих методов анализа в данном исследовании ($W = 0,55871 - 0,88657$). Оценка достоверности непараметрических критериев Фридмана и Уилкоксона показала наличие существенной разницы между отловами в вегетационном сезоне 2021 г. по сравнению с последующими годами исследований ($p < 0,05$) из-за меньшей выборки и снижению летной активности самок-расселительниц. Корреляционный анализ Спирмена выявил существование статистически обоснованной положительной сильной связи между среднедекадной температурой воздуха и показателями отлова тлей в ловушки Малеза в 2022 и 2023 гг. ($R > 0$; $R = 0,643 - 0,829$; $p < 0,05$), но не показал наличие связей между отловом тлей и количеством выпавших осадков за вегетационный сезон ($p > 0,05$).

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

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений № FGEU-2025-0001 «Фитосанитарный мониторинг, прогноз и районирование агроландшафтов и агроэкосистем на основе эколого-географического и филогенетического анализа, визуализации и интегративной систематики вредных и полезных организмов».

FUNDING OF RESEARCH

The research was carried out within the framework of the State project FSBSI All-Russian Institute of Plant Protection No. FGEU-2025-0001 "Phytosanitary monitoring, forecasting and zoning of agrolandscapes and agroecosystems based on ecological-geographical and phylogenetic analysis, visualization and integrative taxonomy of harmful and beneficial organisms".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Голиванов Я.Ю., Блинова С.А., Грищенко В.В. Оценка заселения злаковыми тлями коллекции сортообразцов яровой тритикале. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021; (6): 42–51. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-6-42-51>
- Николаева З.В., Тимофеева Н.Ю. Тли — вредители зерновых культур в Псковской области. *Наукосфера*. 2021; (1-1): 123–128. EDN IVAUFX
- Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Anisimova I.N. Genetic Resources of Cereal Crops for Aphid Resistance. *Plants*. 2022; 11(11): 1490. <https://doi.org/10.3390/plants11111490>
- Запрудский А.А., Привалов Д.Ф., Нехведович С.И., Пенязь Е.В. Вредоносность фитофагов в агроценозах кормовых бобов в Беларуси. *Земледелие и растениеводство*. 2021; (6): 31–35. EDN FXBDDR
- Ахмедов М.Х., Хусанов А.К. Фауна, особенности обитания и распространения берёзовых тлей (Homoptera, Aphidinea) в Центральной Азии. *Российский паразитологический журнал*. 2017; (2): 113–117. EDN ZIWLJJ
- Kern M., Meiners T., Schliephake E., Habekuss A., Ordon F., Will T. Infection of susceptible/tolerant barley genotypes with *Barley yellow dwarf virus* alters the host plant preference of *Rhopalosiphum padi* clones depending upon their ability to transmit BYDV. *Journal of Pest Science*. 2022; 95(1): 215–229. <https://doi.org/10.1007/S10340-021-01367-2>

REFERENCES

- Golivanov Ya.Yu., Blinova S.A., Gritsenko V.V. Assessing the population of cereal aphids in spring triticales cultivar collection. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; (6): 42–51 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-6-42-51>
- Nikolaeva Z.V., Timofeeva N.Yu. Aphids are pests of cereals in the Pskov region. *Naukosfera*. 2021; (1-1): 123–128 (in Russian). EDN IVAUFX
- Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Anisimova I.N. Genetic Resources of Cereal Crops for Aphid Resistance. *Plants*. 2022; 11(11): 1490. <https://doi.org/10.3390/plants11111490>
- Zaprudsky A.A., Privalov D.F., Nekhvedovich S.I., Penyaz E.V. Harmfulness of phytophages in fodder beans agroecosystems in Belarus. *Crop Farming and Plant Growing*. 2021; (6): 31–35 (in Russian). EDN FXBDDR
- Akhmedov M.Kh., Khusanov A.K. Fauna, features and distribution of birch aphid (Homoptera, Aphidinea) in Central Asia. *Russian Journal of Parasitology*. 2017; (2): 113–117 (in Russian). EDN ZIWLJJ
- Kern M., Meiners T., Schliephake E., Habekuss A., Ordon F., Will T. Infection of susceptible/tolerant barley genotypes with *Barley yellow dwarf virus* alters the host plant preference of *Rhopalosiphum padi* clones depending upon their ability to transmit BYDV. *Journal of Pest Science*. 2022; 95(1): 215–229. <https://doi.org/10.1007/S10340-021-01367-2>

7. Johansen N.S. *et al.* Aphid populations and virus vector potential in potato fields across seasons and regions in Norway. *Scientific Reports*. 2025; 15: 36675. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-20355-5>
8. Gandrabur E.S., Vereshchagina A.B. Features of bird-cherry that inhibits the breeding of the population *Rhopalosiphum padi* (L.) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae). *Agronomy Research*. 2021; 19(1): 83–91. <https://doi.org/10.15159/AR.21.002>
9. Верещагина А.Б., Гандрабур Е.С. Диагностика внутрипопуляционного адаптационного черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* (L.) в условиях питания на яровой мягкой пшенице различных сортов. *Зерновое хозяйство России*. 2023; (3): 99–107. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-99-107>
10. Берим М.Н. Особенности жизнедеятельности злаковых тлей на Северо-Западе России. *Аграрный научный журнал*. 2023; (10): 26–32. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp26-32>
11. Радченко Е.Е., Анисимова И.Н., Алпатиева Н.В. Полиморфизм российских популяций *Rhopalosiphum padi* L. по ДНК-маркерам. *Генетика*. 2024; 60(8): 66–73. <https://doi.org/10.31857/S0016675824080068>
12. Nikolova I. Заселяемость сортов конских бобов (*Vicia faba* L.) бобовой тлей *Aphis fabae* Scopoli и признаки, ответственные за низкую восприимчивость растений к вредителю. *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(1): 142–157. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.142rus>
13. Шаманин А.А., Берим М.Н., Корелина В.А., Попова Л.А. Активность тлей-переносчиков вируса картофеля в Архангельской области. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2023; 18(4): 60–66. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-60-66>
14. Шаманин А.А., Берим М.Н. Тли на посадках картофеля в северной части Архангельской области. *Аграрная наука*. 2025; (7): 129–136. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-129-136>
15. Овсянникова Е.И., Берим М.Н. Оценка видового разнообразия тлей (Hemiptera, Aphididae) в агроценозе опытного поля ВИЗР Пушкинского района Санкт-Петербурга в 2021–2023 гг. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2024; 19(3): 27–32. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-27-32>
16. Алдобаев В.Н., Артемьева А.Д., Масликов А.А. Исследование поведения классических критериев множественных сравнений, на ненормальных неоднородных распределениях, методом Монте-Карло. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2021; (3): 72–80. <https://doi.org/10.17308/sait.2021.3/3737>
17. Breittling R., Herzyk P. Rank-based methods as a non-parametric alternative of the t-statistic for the analysis of biological microarray data. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*. 2005; 3(5): 1171–1189. <https://doi.org/10.1142/s0219720005001442>
18. Lamb R.J., MacKay P.A., Alyokhin A. Estimating population variability of aphids (Hemiptera: Aphididae): how many years are required? *The Canadian Entomologist*. 2017; 149(1): 48–55. <https://doi.org/10.4039/tce.2016.34>
19. Campos A.C., Bustillo C.W.G., Villafranca M.H., Campos M.S. Non-Parametric Statistical Methods and Data Transformations in Agricultural Pest Population Studies. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2012; 72(3): 440–443. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000300020>
20. Damos P., Papathanasiou F., Tsikos E., Kyriakidis T., Louta M. Bayesian Non-Parametric Thermal Thresholds for *Helicoverpa armigera* and Their Integration into a Digital Plant Protection System. *Agronomy*. 2022; 12(10): 2474. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102474>
21. Brose U. Estimating species richness of pitfall catches by non-parametric estimators. *Pedobiologia*. 2002; 46(2): 101–107. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00117>
22. Roik K., Małas S., Trzciński P., Bocianowski J. Impact of Meteorological Conditions on the Bird Cherry–Oat Aphid (*Rhopalosiphum padi* L.) Flights Recorded by Johnson Suction Traps. *Agriculture*. 2026; 16(2): 152. <https://doi.org/10.3390/agriculture16020152>
23. Sileschi G. Selecting the right statistical model for analysis of insect count data by using information theoretic measures. *Bulletin of Entomological Research*. 2006; 96(5): 479–488. <https://doi.org/10.1079/BER2006449>
24. Гандрабур Е.С., Верещагина А.Б., Клименко Н.С., Еремеев Ф.К. Особенности оценки развития черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* (L.) при питании на злаках. *Зерновое хозяйство России*. 2025; 17(6): 113–120. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-101-6-113-120>
25. Parry H.R. Cereal aphid movement: general principles and simulation modelling. *Movement Ecology*. 2013; 1: 14. <https://doi.org/10.1186/2051-3933-1-14>
26. Берим М.Н. Влияние погодных условий на численность черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* L. на Северо-Западе России. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019; (6): 109–111. EDN NSLUSY
27. Есков М.И., Рязанцев Н.В. Влияние абиотических факторов на динамику развития яблонной зеленой тли в садах Поволжья. *Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата. Сборник материалов IV международной научно-практической конференции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»*. Саратов. 2024; 444–450. EDN BAJESW
28. Балахнина И.В., Кремнева О.Ю., Попов И.Б., Нестерова А.Ю., Снесарева Е.Г. Взаимное влияние муравьев и афидофагов на биологию и экологию тли в яблоневых садах Юга России. *Юг России: экология, развитие*. 2025; 20(1): 44–56. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2025-1-5>
29. Голванов Я.Ю. Влияние регуляторов роста растений на репродуктивную способность обыкновенной злаковой тли (*Schizaphis graminum* R.). *Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии. 23-я Всероссийская конференция молодых ученых. Сборник тезисов докладов*. М: ВНИИСБ. 2023; 84–85. <https://doi.org/10.48397/ARRIAB.2023.23.XXIII.047>
30. Гандрабур Е.С., Верещагина А.Б. Влияние высоковольтных линий электропередач на воспроизводство клонов двух видов злаковых тлей. *VIII Съезд Вавилового общества генетиков и селекционеров, посвященный 300-летию российской науки и высшей школы. Международный конгресс. Сборник тезисов*. СПб.: Петрополис. 2024; 413. EDN MIGJIK
7. Johansen N.S. *et al.* Aphid populations and virus vector potential in potato fields across seasons and regions in Norway. *Scientific Reports*. 2025; 15: 36675. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-20355-5>
8. Gandrabur E.S., Vereshchagina A.B. Features of bird-cherry that inhibits the breeding of the population *Rhopalosiphum padi* (L.) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae). *Agronomy Research*. 2021; 19(1): 83–91. <https://doi.org/10.15159/AR.21.002>
9. Vereshchagina A.B., Gandrabur E.S. Diagnosis of intrapopulation adaptation genes of bird cherry aphid *Rhopalosiphum padi* (L.) under nutrition conditions on various spring common wheat varieties. *Grain Economy of Russia*. 2023; (3): 99–107 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-99-107>
10. Berim M.N. Features of the vital activity of cereal aphids in the North-West of Russia. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; (10): 26–32 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp26-32>
11. Radchenko E.E., Anisimova I.N., Alpatieva N.V. Polymorphism of Russian Populations of *Rhopalosiphum padi* L. Based on DNA Markers. *Russian Journal of Genetics*. 2024; 60(8): 1056–1062. <https://doi.org/10.1134/S1022795424700522>
12. Nikolova I. Sensitivity of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars to *Aphis fabae* Scopoli infestation and plant parameters responsible for low susceptibility to the pest. *Agricultural Biology*. 2023; 58(1): 142–157. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.142eng>
13. Shamanin A.A., Berim M.N., Korelina V.A., Popova L.A. Activity of aphid vectors of potato viruses in Arkhangelsk region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2023; 18(4): 60–66 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-60-66>
14. Shamanin A.A., Berim M.N. Aphids on potato plantings in the northern part of the Arkhangelsk region. *Agrarian science*. 2025; (7): 129–136 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-129-136>
15. Ovsyannikova E. I., Berim M. N. Evaluation of the species diversity of aphids (Hemiptera, Aphididae) in the agroecosis of VIZR experimental field in Pushkin district of Saint-Petersburg in 2021–2023. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2024; 19(3): 27–32 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-27-32>
16. Aldobaev V.N., Artemyeva A.D., Maslikov A.A. Investigation of the behavior of classical criteria for multiple comparisons, on abnormal heterogeneous distributions, by the Monte-Carlo method. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*. 2021; (3): 72–80 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/sait.2021.3/3737>
17. Breittling R., Herzyk P. Rank-based methods as a non-parametric alternative of the t-statistic for the analysis of biological microarray data. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*. 2005; 3(5): 1171–1189. <https://doi.org/10.1142/s0219720005001442>
18. Lamb R.J., MacKay P.A., Alyokhin A. Estimating population variability of aphids (Hemiptera: Aphididae): how many years are required? *The Canadian Entomologist*. 2017; 149(1): 48–55. <https://doi.org/10.4039/tce.2016.34>
19. Campos A.C., Bustillo C.W.G., Villafranca M.H., Campos M.S. Non-Parametric Statistical Methods and Data Transformations in Agricultural Pest Population Studies. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2012; 72(3): 440–443. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000300020>
20. Damos P., Papathanasiou F., Tsikos E., Kyriakidis T., Louta M. Bayesian Non-Parametric Thermal Thresholds for *Helicoverpa armigera* and Their Integration into a Digital Plant Protection System. *Agronomy*. 2022; 12(10): 2474. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102474>
21. Brose U. Estimating species richness of pitfall catches by non-parametric estimators. *Pedobiologia*. 2002; 46(2): 101–107. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00117>
22. Roik K., Małas S., Trzciński P., Bocianowski J. Impact of Meteorological Conditions on the Bird Cherry–Oat Aphid (*Rhopalosiphum padi* L.) Flights Recorded by Johnson Suction Traps. *Agriculture*. 2026; 16(2): 152. <https://doi.org/10.3390/agriculture16020152>
23. Sileschi G. Selecting the right statistical model for analysis of insect count data by using information theoretic measures. *Bulletin of Entomological Research*. 2006; 96(5): 479–488. <https://doi.org/10.1079/BER2006449>
24. Gandrabur E.S., Vereshchagina A.B., Klimenko N.S., Ereemeev F.K. Peculiarities of development of the bird cherry aphid *Rhopalosiphum padi* (L.) Feeding on cereals. *Grain Economy of Russia*. 2025; 17(6): 113–120 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-101-6-113-120>
25. Parry H.R. Cereal aphid movement: general principles and simulation modelling. *Movement Ecology*. 2013; 1: 14. <https://doi.org/10.1186/2051-3933-1-14>
26. Berim M.N. Effect of weather conditions on the number of cherry tree - cereal aphid (*Rhopalosiphum padi* L.) in the North-West of Russia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019; (6): 109–111 (in Russian). EDN NSLUSY
27. Eskov M.I., Ryazantsev N.V. The influence of abiotic factors on the dynamics of the development of apple green aphids in the gardens of the Volga region. *Scientific support of sustainable development of the agro-industrial complex in the context of climate aridization. Collection of materials of the IV International scientific and practical conference of the Federal State Budgetary Scientific Institution RosNIISK "Rossorgo"*. Saratov. 2024; 444–450 (in Russian). EDN BAJESW
28. Balakhnina I.V., Kremneva O.Yu., Popov I.B., Nesterova A.Yu., Snesareva E.G. Mutual influence of ants and aphidophages on the biology and ecology of aphids in apple orchards in southern Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1): 44–56 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2025-1-5>
29. Golvanov Ya.Yu. Influence of plant growth regulators on the reproductive ability of the common cereal aphid (*Schizaphis graminum* R.). *Biotechnology in plant production, animal husbandry and agricultural microbiology. 23rd All-Russian conference of young scientists. Collection of reports' abstracts*. Moscow: All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology. 2023; 84–85 (in Russian). <https://doi.org/10.48397/ARRIAB.2023.23.XXIII.047>
30. Gandrabur E.S., Vereshchagina A.B. Influence of high-voltage power lines on the reproduction of clones of two species of cereal aphids. *VIII Congress of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders, dedicated to the 300th anniversary of Russian science and higher education": International Congress. Book of abstracts*. St. Petersburg: Petropolis. 2024; 413 (in Russian). EDN MIGJIK

ОБ АВТОРАХ

Елена Ивановна Овсянникова

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории фитосанитарной диагностики и прогнозов
ovsyannikovae@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1860-6364>

Марина Николаевна Берим

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории фитосанитарной диагностики и прогнозов
berim_m@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6207-4505>

Роман Сергеевич Крохалев

аспирант
krs0502@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-9637-8750>

Всероссийский научно-исследовательский институт
защиты растений,
ш. Подбельского, 3, г. Пушкин, Санкт-Петербург, 196608,
Россия

ABOUT THE AUTHORS

Elena Ivanovna Ovsyannikova

Candidate of Biological Sciences, leading researcher of
laboratory of phytosanitary diagnostics and forecasting
ovsyannikovae@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1860-6364>

Marina Nikolaevna Berim

Candidate of Biological Sciences, senior researcher of
laboratory of phytosanitary diagnostics and forecasting
berim_m@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6207-4505>

Roman Sergeevich Krokhaev

Post-graduate student
krs0502@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-9637-8750>

All-Russian Institute of Plant Protection,
3 Shosse Podbelskogo, Pushkin, St. Petersburg, 196608,
Russia

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453,
по agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ
ООО «Урал-Пресс Округ»
<https://www.ural-press.ru/catalog/>

» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
на отраслевом портале
<https://agrarnayanauka.ru/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru



УДК 631.152:620.9

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159

И.А. Рахимжанова¹

В.Г. Петько¹

В.В. Пугачев¹ ✉

М.Б. Фомин¹

В.А. Пушко¹

А.С. Байков¹

В.И. Косилов¹

А.Ф. Абдюкаева¹

Н.М. Губашев²

¹Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан

✉ pvv056@list.ru

Поступила в редакцию: 17.03.2026

Одобрена после рецензирования: 17.07.2026

Принята к публикации: 01.08.2026

© Рахимжанова И.А., Петько В.Г., Пугачев В.В., Фомин М.Б., Пушко В.А., Байков А.С., Косилов В.И., Абдюкаева А.Ф., Губашев Н.М.

Review



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159

Ilmira A. Rakhimzhanova¹

Victor G. Petko¹

Vladimir V. Pugachev¹ ✉

Maxim B. Fomin¹

Vladislav A. Pushko¹

Alexey S. Baykov¹

Vladimir I. Kosilov¹

Alfiya F. Abdymukayeva¹

Nurken M. Gubashev²

¹ Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

²West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

✉ pvv056@list.ru

Received by the editorial office: 17.03.2026

Accepted in revised: 17.07.2026

Accepted for publication: 01.08.2026

© Rakhimzhanova I.A., Petko V.G., Pugachev V.V., Fomin M.B., Pushko V.A., Baykov A.S., Kosilov V.I., Abdymukayeva A.F., Gubashev N.M.

Систематизированный обзор и оценка применяемых систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения автономных объектов АПК

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Территориальная удаленность некоторых объектов сельскохозяйственного производства создает определенные трудности в их энергоснабжении. Исходя из этого, актуальным становится применение возобновляемых источников энергии, преобразование которых в специализированных установках позволит обеспечить теплом, горячей водой и электрической энергией автономные объекты АПК.

Методика. В статье проводится анализ систем энергоснабжения для автономных объектов сельского хозяйства: отопление, горячее водоснабжение и электроснабжение. Приводятся типы технологических установок, особенности их функционирования в зависимости от специфики технологических процессов удаленных объектов АПК.

Результаты. По итогам систематизированного анализа установлено, что приоритетным направлением развития таких систем становится комбинированное использование традиционных энергоносителей и возобновляемых источников энергии. Однако в связи с возникающими трудностями снабжения удаленных объектов источниками энергии становится актуальным создание гибридных систем генерации на основе альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: энергоснабжение, теплоснабжение, удаленные агропромышленные объекты, возобновляемые источники энергии, автономные энергоустановки, гибридные системы энергоснабжения

Для цитирования: Рахимжанова И.А. и др. Систематизированный обзор и оценка применяемых систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения автономных объектов АПК. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 151–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159>

Systematized review and assessment of heating, hot water supply, and power supply systems used in autonomous agricultural facilities

ABSTRACT

Relevance. The territorial remoteness of some agricultural production facilities creates certain difficulties in their energy supply. Based on this, the use of renewable energy sources becomes relevant, and their conversion in specialized installations will provide autonomous agricultural facilities with heat, hot water, and electricity.

Methodology. The article analyzes energy supply systems for autonomous agricultural facilities: heating, hot water supply, and electricity supply. It describes the types of technological installations and their functioning features, depending on the specific technological processes of remote agricultural facilities.

Results. Based on the results of a systematic analysis, it has been established that the combined use of traditional energy sources and renewable energy sources is becoming a priority for the development of such systems. However, due to the difficulties in supplying remote facilities with energy sources, the creation of hybrid generation systems based on alternative energy sources is becoming relevant.

Key words: energy supply, heat supply, remote agro-industrial facilities, renewable energy sources, autonomous power plants, hybrid power supply systems

For citation: Rakhimzhanova I.A. *et al.* Systematized review and assessment of heating, hot water supply, and power supply systems used in autonomous agricultural facilities. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 151–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159>

Введение/Introduction

Наличие в отрасли агропромышленного производства доли удаленных от централизованных энергосетей объектов создает устойчивую потребность в разработке специализированных автономных энергосистем. Летние выгульные площадки для скота, тепличные комплексы, хранилища, небольшие фермерские хозяйства, отгонные пастбища, объекты переработки продукции сельского хозяйства, а также другие удаленные производственные помещения, расположенные в географически изолированных местах, требуют бесперебойного обеспечения теплом, горячей водой и электроэнергией для организации технологических процессов. Особенности сельскохозяйственного производства, такие как сезонные колебания нагрузки и специфические санитарные требования, диктуют необходимость адаптации технических решений к условиям производства [1–3].

Зависимость автономных объектов АПК от локальных источников энергии сопряжена с системными рисками эксплуатационного характера. Перебои в подаче тепла и электричества приводят к нарушению микроклимата в животноводческих помещениях, срыву технологических циклов в растениеводстве и потере значительных объемов продукции. Особенно критичны такие сбои для холодильных установок и систем вентиляции, где даже кратковременные отключения могут привести к необратимым последствиям.

Логистические ограничения, характерные для удаленных сельскохозяйственных объектов, затрудняют оперативный ремонт и поставку топлива, увеличивая эксплуатационные расходы. Это создает замкнутый круг: попытки повысить надежность за счет резервирования мощностей ведут к удорожанию себестоимости продукции.

Актуальность вопросов энергоснабжения автономных объектов сельскохозяйственного производства усиливается на фоне глобальных вызовов современности. Изменение климата требует пересмотра традиционных подходов к проектированию систем с учетом участвовавших аномальных температурных режимов. Геополитическая нестабильность актуализирует задачи импортозамещения технологического оборудования, что особенно важно для стратегически значимых отраслей, к которым относится агропромышленный комплекс.

Цель данной работы — для автономных объектов сельского хозяйства провести систематизированный анализ систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения, получаемых энергоносители как от централизованных систем, так и от возобновляемых

источников энергии и предложить рекомендации по повышению их эффективности.

Материал и методы исследования / Material and methods

Для систематизированного анализа систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения автономных объектов АПК был проведен поиск публикаций на русском языке по базе данных eLibrary за 2015–2025 гг. по следующим ключевым словам: «отопление автономного объекта», «горячее водоснабжение автономного объекта», «электроснабжение автономного объекта», «энергоснабжение автономного объекта».

Снабжение энергоносителями автономных объектов зависит от их типа и производственного процесса, реализуемого в них, поэтому при поиске публикаций в запросе не указывались конкретные типы сельскохозяйственных объектов. Также при поиске анализировались публикации, направленные на решение проблем энергоснабжения от альтернативных источников энергии.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Автономные системы отопления

Автономные системы отопления для объектов агропромышленного комплекса классифицируются по типу используемого энергоносителя. Основные категории включают твердотопливные, жидкотопливные, газовые и электрические источники получения тепла. Каждый тип обладает специфическими характеристиками, определяющими область применения. Так, твердотопливные системы распространены в районах с доступным древесным сырьем или сельскохозяйственными отходами. Коэффициент полезного действия газовых котлов, применяемых в системах теплоснабжения, в настоящее время достигает значений 92%. Жидкотопливные установки требуют организации хранилищ для энергоносителя, что увеличивает эксплуатационные расходы. Электрические системы отличаются простотой монтажа, но зависимы от стабильности электроснабжения. Кроме этого, твердо- и жидкотопливные системы получения тепла для отопления удаленных объектов требуют регулярной поставки энергоносителя (рис. 1) [4, 5].

Рис. 1. Классификация систем отопления

Fig. 1. Classification of heating systems



Выбор отопительной системы определяется теплопотерями объекта и технологическими требованиями производства¹. Через ограждающие конструкции животноводческих комплексов может теряться до 30–40% тепловой энергии, что требует тщательного расчета мощностей оборудования. При теплоснабжении теплиц критичны такие особенности как поддержание стабильного температурного режима и равномерное распределение тепла по объему сооружения. Эксплуатация отопительных систем в АПК характеризуется выраженной сезонностью нагрузок и повышенными требованиями к надежности. Сезонные колебания тепловой нагрузки могут достигать 70%, что требует адаптивных систем регулирования. Отсутствие альтернативных источников тепла в удаленных хозяйствах обуславливает необходимость безотказной работы оборудования [6, 7].

Тепловая мощность и КПД отопительных систем определяются конструкцией теплообменников и технологией теплопередачи. Чугунные теплообменники обладают повышенной коррозионной стойкостью, но отличаются значительной массой и инерционностью. Конденсационные котлы используют скрытую теплоту парообразования продуктов сгорания, увеличивая КПД на 10–12% по сравнению с традиционными моделями. Стальные теплообменники обеспечивают быстрый выход на рабочий режим, но подвержены деформациям при термических перегрузках. Эффективность систем косвенно зависит от площади теплообменной поверхности и скорости циркуляции теплоносителя. Пластинчатые теплообменники демонстрируют высокий коэффициент теплопередачи при компактных размерах. В системах с принудительной циркуляцией достигается равномерное распределение тепла по контуру, однако возрастает энергопотребление насосного оборудования. Как показали исследования, современные технологии изготовления пленочных лучистых электронагревателей позволяют использовать их для обогрева автономных объектов (табл. 1) [8–12].

Требования к качеству топлива варьируются в зависимости от типа отопительного оборудования. Для жидкотопливных котлов критично содержание серы в дизельном топливе, которое не

должно превышать 0,2%, чтобы предотвратить коррозию горелочных устройств. Твердотопливные системы чувствительны к влажности древесины, оптимальный показатель которой не должен превышать 20% для обеспечения эффективного горения. Эксплуатационные условия включают необходимость регулярной очистки топочных камер от сажи и золы для поддержания проектной мощности. Газовые котлы требуют организации системы дымоудаления с соблюдением норм тяги. Для оптимальной работы электрических отопительных установок необходимо создать условия, при которых электрическая энергия отвечает определенным стандартам качества и бесперебойности электроснабжения [5].

Горячее водоснабжение

Автономные системы горячего водоснабжения (ГВС) для объектов АПК преимущественно представлены тремя типами конструктивных решений. Проточные водонагреватели обеспечивают мгновенный нагрев воды за счет газовых или электрических нагревательных элементов, применение которых эффективно при локальном и периодическом водопотреблении, характерном для небольших животноводческих ферм. Однако такие системы требуют стабильного энергоснабжения и обладают ограниченной производительностью при пиковых нагрузках. Накопительные бойлеры, используемые в системах горячего водоснабжения, отличаются наличием теплоизолированной емкости для хранения нагретой воды, что позволяет компенсировать неравномерность потребления. Комбинированные решения интегрируют несколько источников тепловой энергии, включая солнечные коллекторы и резервные нагреватели. Подобные гибридные системы демонстрируют повышенную надежность в условиях сезонных колебаний потребности в горячей воде, характерных для растениеводческих комплексов [7].

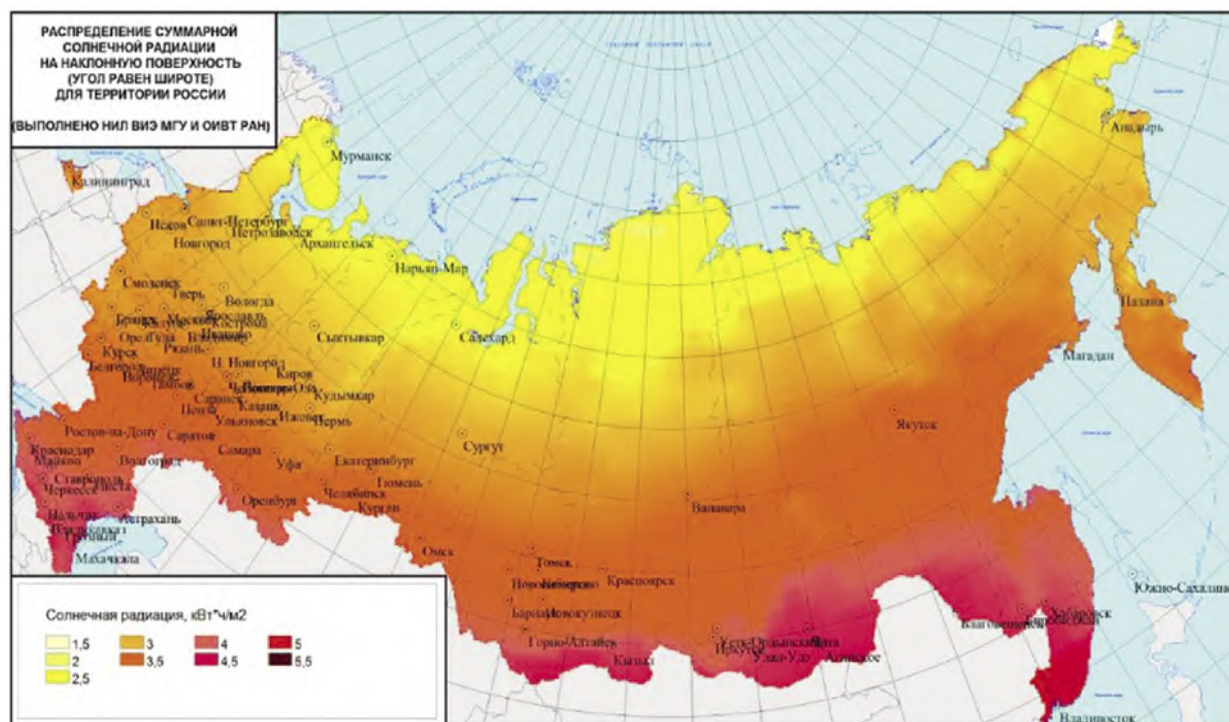
Энергоэффективность систем горячего водоснабжения напрямую зависит от их способности адаптироваться к переменным нагрузкам. Одним из вариантов преобразования альтернативных источников энергии в Оренбургской области являются гибридные энергоустановки, основой которых становятся гелиоколлекторы и солнечные панели, обеспечивающие использова-

Таблица 1. Сравнение систем теплоснабжения по видам источника тепловой энергии

Table 1. Comparison of heating systems by types of thermal energy source

Показатель	Газовое оборудование	Твердотопливный котел	Электрический конвектор	Электрический котел	Пленочный лучистый электронагреватель (ПЛЭН)
КПД, %	91,07	77,11	95	97,65	98
Надежность	средняя	низкая	низкая	средняя	высокая
Экономичный режим	нет	нет	нет	есть	есть
Занимаемая полезная площадь помещения	Уменьшается полезная площадь помещения	Уменьшается полезная площадь помещения	Полезная площадь помещения не уменьшается	Уменьшается полезная площадь помещения	Полезная площадь помещения не уменьшается
Уровень шума	средний	высокий	низкий	низкий	отсутствует
Срок службы	11–15 лет	10–15 лет	До 10 лет	До 10 лет	Более 50 лет

¹ СП 373.1325800.2018 Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования. ООО «СанТехПроект». 2018, 35 с.

Рис. 2. Распределение суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность для территории России**Fig. 2.** Distribution of total solar radiation on an inclined surface for the territory of Russia

ние энергии солнца для тепло- и электроснабжения² (рис. 2) [13]. Такие системы минимизируют зависимость от традиционных энергоносителей за счет аккумулирования тепловой энергии в периоды низкого потребления. Оптимизация режимов работы такого оборудования позволит снизить эксплуатационные затраты на объектах с циклическим водопотреблением.

Специфика применения систем ГВС в агропромышленном комплексе определяется отраслевыми особенностями. В животноводческих помещениях критичны требования к санитарной обработке, что предполагает использование высокопроизводительных накопительных систем с постоянным поддержанием температуры. В растениеводческих комплексах актуальны сезонные системы с возможностью интеграции солнечных коллекторов для подогрева поливной воды. Выбор конкретного технического решения должен учитывать объемы водопотребления, климатические условия и доступность энергоресурсов.

Производительность систем горячего водоснабжения напрямую зависит от типа используемого теплообменника и мощности нагревательного элемента. Пластинчатые теплообменники демонстрируют высокий КПД за счет увеличенной площади контакта с теплоносителем, тогда как кожухотрубные конструкции обеспечивают устойчивость к перепадам давления. Для проточных систем критическое значение имеет мгновенная теплопроизводительность, измеряемая в литрах в минуту при заданном температурном напоре. Мощность нагревательных элементов варьируется от 3 кВт для бытовых нужд до 50 кВт для

промышленных объектов АПК. Комбинированные системы, сочетающие электрические ТЭНы с солнечными коллекторами, позволяют снизить энергопотребление на 30-40% за счет использования возобновляемых источников энергии. Оптимальная производительность достигается при согласовании мощности нагревателя с пиковым расходом воды и характеристиками теплообменного оборудования [6].

Конструкция автономных систем ГВС включает элементы рециркуляции для поддержания постоянной температуры в точках водоразбора. Рециркуляционные насосы обеспечивают движение воды по замкнутому контуру, минимизируя тепловые потери в трубопроводах. Это особенно актуально для протяженных сетей сельскохозяйственных объектов, где расстояние между нагревателем и потребителем может превышать 20 метров. Теплоизоляция труб и накопительных резервуаров выполняется из пенополиуретана или минеральной ваты толщиной 30-50 мм, что позволяет снизить тепловые потери на 15-25%. Герметичные конструкции с двойными стенками предотвращают конденсацию влаги и коррозию. Совместное применение рециркуляции и теплоизоляции повышает общий КПД системы на 20-30% по сравнению с базовыми решениями [7].

Солнечные коллекторы характеризуются выраженной сезонной зависимостью эффективности нагрева воды. В летний период их производительность достигает максимума, обеспечивая до 70-90% потребности в горячем водоснабжении, тогда как в зимние месяцы этот показатель снижается до 20-40% из-за уменьшения инсоляции.

² На рис. 2 представлена информация без новых регионов Российской Федерации (с 2014 г.)

Географическое расположение объектов АПК напрямую влияет на экономическую целесообразность применения таких систем, требуя точного расчета оптимальной площади коллекторов и угла их установки. Для компенсации сезонных колебаний производительности солнечные коллекторы требуют интеграции дублирующих источников энергии, таких как электрические или газовые нагреватели. Это увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты, но обеспечивает бесперебойное горячее водоснабжение. Использование аккумуляторов тепла позволяет частично нивелировать суточные колебания выработки энергии, однако их емкость ограничена технико-экономическими факторами. Гибридные системы, сочетающие солнечные коллекторы с тепловыми насосами, демонстрируют повышенную надежность, но отличаются сложностью обслуживания.

Электроснабжение

Автономные системы электроснабжения объектов АПК включают несколько типов источников энергии. Дизельные генераторы остаются распространенным решением благодаря высокой мощности и независимости от погодных условий. Солнечные панели и ветрогенераторы представляют возобновляемые альтернативы с низкими эксплуатационными затратами. Каждый тип обладает специфическими характеристиками, определяющими область применения в агропромышленном комплексе. Гибридные системы сочетают различные источники для повышения надежности энергоснабжения. Они комбинируют преимущества традиционных генераторов с экологичностью возобновляемых технологий. Такие решения особенно актуальны для удаленных объектов с переменными нагрузками.

Надежность электроснабжения критически важна для объектов АПК, таких как животноводческие комплексы и тепличные хозяйства. Перебои в энергоснабжении могут привести к нарушению технологических процессов и существенным экономическим потерям. Требования включают обеспечение бесперебойного питания, резервирование мощностей и автоматическое переключение между источниками. Эти меры направлены на поддержание непрерывности производственных циклов.

Сезонные, а в некоторых случаях и суточные, особенности сельскохозяйственного производства требуют адаптации систем электроснабжения на основе альтернативных источников энергии. Так, на летних выгульных площадках для КРС загруженность электрооборудования, включенного в технологический цикл производства, имеет переменный характер в течение суток. Например, вакуумные насосы и освещение в основном помещении работают только в утренние и вечерние часы, когда организуют процесс доения.

Дизель-генераторные установки характеризуются высокой мощностью (от 10 кВт до нескольких

МВт) и способностью работать в непрерывном режиме. Их эксплуатация требует организации топливного хозяйства с резервуарами для хранения дизельного топлива. Газопоршневые установки отличаются более высоким КПД (до 45%) и возможностью использования попутного нефтяного или биогаза, что снижает экологическую нагрузку. Оба типа генераторов требуют регулярного технического обслуживания и системы отвода выхлопных газов. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели и ветрогенераторы, обеспечивают экологически чистую генерацию без расходов на топливо. Фотоэлектрические модули имеют срок службы 25–30 лет, но их производительность зависит от инсоляции и требует точного расчета угла установки. Ветроэнергетические установки эффективны в районах со средней скоростью ветра от 4 м/с, но нуждаются в мачтах высотой 12–24 метра для оптимального использования энергии воздушных потоков [14].

Системы автоматического ввода резерва (АВР) обеспечивают бесперебойное электроснабжение за счет мгновенного переключения между основным и резервным источниками при аварийных ситуациях. Микропроцессорные контроллеры постоянно анализируют параметры сети: напряжение, частоту и нагрузочную способность. При выходе показателей за допустимые пределы происходит запуск резервного генератора с последующим переключением потребителей. Современные системы управления нагрузкой используют программируемые логические контроллеры для оптимизации энергопотребления в реальном времени. Алгоритмы динамического распределения нагрузки отключают второстепенные потребители при пиковых запросах мощности. Интеллектуальные реле приоритета автоматически регулируют последовательность подключения оборудования, предотвращая перегрузку генераторных установок.

Накопители энергии, которые часто входят в состав системы электроснабжения автономных потребителей, выполняют функцию буфера между источниками генерации и потребителями, сглаживая суточные колебания энергопотребления. Литий-ионные аккумуляторы обладают высокой плотностью энергии (150–200 Вт·ч/кг) и большим количеством циклов заряда-разряда (2000–5000). Свинцово-кислотные батареи отличаются более низкой стоимостью, но требуют регулярного обслуживания и вентилируемых помещений для установки. Гибридные системы комбинируют накопители с дизель-генераторами, что позволяет снизить расход топлива на 40–60% за счет их работы в оптимальном нагрузочном режиме.

Автономные энергосистемы должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 54149-2010³ по качеству электроэнергии: стабильность напряжения ($\pm 5\%$), частота (50 Гц $\pm 1\%$) и коэффициент

³ ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

нелинейных искажений (не более 8%). Для соблюдения нормативов применяются стабилизаторы напряжения, частотные преобразователи и фильтры высших гармоник. Особое внимание уделяется защите чувствительного электронного оборудования сельскохозяйственных комплексов от импульсных перенапряжений. Внедрение солнечной генерации позволяет не только снизить затраты на энергоносители, но и обеспечить требуемую надежность и качество электроэнергии для работы высокотехнологичного электрооборудования: частотных приводов насосов, автоматизированных доильных установок, систем климатконтроля [15].

Автономные фотоэлектрические системы демонстрируют прямую зависимость выработки электроэнергии от уровня инсоляции в конкретном регионе. КПД современных фотоэлектрических преобразователей варьируется в пределах 15–22%, что определяет необходимость увеличения площади солнечных панелей для компенсации потерь. Сезонные колебания солнечной активности требуют применения аккумуляторных батарей для сглаживания суточной неравномерности генерации. Данный фактор существенно влияет на общую стоимость системы и сроки ее окупаемости [6].

Ветрогенераторы характеризуются нелинейной зависимостью выходной мощности от скорости ветра, достигая номинальных значений лишь при определенных метеорологических условиях [16–20]. Анализ эксплуатационных данных показывает, что среднегодовая выработка энергии ветроустановками в 2–3 раза ниже теоретического максимума из-за природной изменчивости ветрового режима. Наибольшая эффективность наблюдается в прибрежных и степных зонах, где средняя скорость ветра превышает 5 м/с. Неравномерность генерации ветроэлектростанций требует применения систем аккумулирования энергии повышенной емкости, что увеличивает капитальные затраты [21–25]. Особую проблему представляют периоды штиля, когда необходимо задействовать резервные источники электроснабжения. Современные гибридные решения комбинируют ветрогенераторы с фотоэлектрическими панелями, позволяя снизить зависимость от одного вида возобновляемой энергии [26–30].

Объекты АПК с периодическим режимом эксплуатации требуют особой конфигурации систем жизнеобеспечения. Сельскохозяйственные комплексы сезонного использования нуждаются в быстром запуске оборудования после длительного простоя. Для этого применяются модульные конструкции с предустановленными параметрами работы и минимальным временем выхода на рабочий режим. Ограниченный обслуживающий персонал обуславливает необходимость максимальной автоматизации процессов управления. Внедрение систем дистанционного контроля и предустановленных сценариев работы снижает

требования к квалификации операторов. Простота технического обслуживания достигается за счет стандартизации узлов и использования самодиагностирующихся компонентов.

Оптимальным решением для автономных объектов АПК является комбинированное использование возобновляемых и традиционных источников энергии. Такая стратегия позволяет покрывать базовые нагрузки за счет стабильных источников, таких как дизель-генераторы или газовые установки, сохраняя возобновляемые ресурсы для переменных потребностей. При этом пиковые нагрузки эффективно компенсируются за счет гибкого перераспределения энергопотоков между источниками. Это обеспечивает устойчивость энергоснабжения при минимальных эксплуатационных издержках. Важным аспектом стратегии является накопление избыточной энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками. В то же время избыток энергии ветра или солнечного излучения может накапливаться в аккумуляторах энергии без дополнительных затрат на топливо [31]. Накопительные системы позволяют сглаживать суточные колебания генерации и потребления, повышая общую эффективность комплекса. Особое значение это имеет для сельскохозяйственных объектов с сезонными изменениями энергопотребления. Балансировка мощностей требует четкого разделения ролей между источниками разных типов. Традиционные установки целесообразно использовать для обеспечения базовой нагрузки, тогда как ВИЭ оптимальны для покрытия переменной части графика потребления. Для пиковых нагрузок рекомендуется применять гибридные схемы с кратковременным подключением резервных генераторов. Такой подход минимизирует расход топлива и продлевает срок службы оборудования [32, 33].

В автономных энергоснабжающих системах возможно создание синергетических эффектов, которые достигаются через совместную работу разнотипных генерирующих установок. «Снизить потери может использование объединенных комплексов ВИЭ и автономных источников энергии, а также применение современных преобразующих и контролирующих систем, позволяющих обеспечить гарантированное энергообеспечение потребителей» [34]. Интеграция солнечных панелей с ветрогенераторами и дизель-генераторами позволяет компенсировать периоды снижения генерации одного источника за счет других. Примером эффективной синергии служит комбинация тепловых и электрических систем. Когенерационные установки, вырабатывающие одновременно тепло и электроэнергию, могут дополняться тепловыми насосами и солнечными коллекторами. Это создает замкнутый цикл энергообмена, где избыточное тепло одной системы используется другой. В результате повышается общий КПД комплекса при сокращении потребления первичных энергоресурсов.

Типовые схемы интеграции предусматривают объединение тепловых и электрических систем через единую управляющую платформу. Оптимизация баланса мощностей достигается за счет автоматического перераспределения потоков энергии между отоплением, ГВС и электроснабжением. Приоритет отдается каскадному использованию энергии: например, утилизация тепла электрогенераторов для нужд отопления. Такие решения снижают общую установленную мощность оборудования на 15–20% за счет устранения дублирующих функций [35, 36].

Выводы/Conclusion

Проведенный аналитический обзор систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения подтвердил критическую роль автономных систем энергоснабжения для обеспечения устойчивой работы удаленных объектов агропромышленного комплекса. Независимость от централизованных сетей минимизирует риски производственных сбоев, вызванных перебоями в поставках энергии. Каждая система демонстрирует выраженную специфику технической реализации, зависящую от типа сельскохозяйственного объекта и локальных климатических условий. Классификация выявила необходимость дифференцированного подхода при выборе конфигурации систем для различных объектов АПК.

Технический анализ подтвердил преобладание гибридных решений, комбинирующих традиционные и возобновляемые источники энергии. Генераторы на жидком топливе сохраняют свою значимость благодаря высокой мощности и стабильности генерации энергии, тогда как солнечные коллекторы и ветроэнергетические установки

обеспечивают экологическую устойчивость. Оптимальное соотношение компонентов определяется требованиями конкретного сельскохозяйственного объекта. Экономическая целесообразность гибридных систем напрямую зависит от климатических ограничений и доступности ресурсов в регионе эксплуатации.

Несмотря на достоинства применения установок по преобразованию альтернативных источников энергии, нужно учитывать и некоторые недостатки их эксплуатации. Объем вырабатываемой энергии как тепловой, так и электрической будет зависеть от погодных условий в регионе установки. В некоторых системах применяются аккумуляторы для накопления электрической энергии, что будет вызывать увеличение капитальных вложений при их приобретении. Также поле истечения срока эксплуатации может возникнуть сложность в утилизации элементов оборудования.

Синергетический эффект будет достигаться при комбинированном использовании источников тепловой и электрической энергии, что позволяет сократить избыточную мощность оборудования. Предложенные решения направлены на создание сбалансированных энергокомплексов для автономных объектов. Перспективы развития автономных энергосистем для АПК связаны с внедрением цифровых технологий управления и предиктивных моделей обслуживания.

Дальнейшие исследования требуют междисциплинарного подхода, объединяющего достижения агроинженерии, энергетики и информационных технологий, что позволит создать интеллектуальные системы, адаптирующиеся к изменяющимся условиям эксплуатации.

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. Ивашкин В.С., Бурков А.И., Гордеева И.С., Отавина Р.В. Тенденции в области автономного энергоснабжения животноводческих объектов. *Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации. Материалы всероссийской научно-практической конференции*. Пермь: ОТ и ДО. 2022; 289–293. EDN KUFYXQ
2. Орлова С.С., Панкова Т.А., Миркина Е.Н. Анализ эффективности работы систем теплоснабжения. Основы рационального природопользования. Материалы XI национальной конференции с международным участием. Саратов: Вавиловский университет. 2025; 395–400. EDN EUHLDO
3. Новикова Е.Д. Повышение эффективности энергоснабжения автономных объектов. *Теплоэнергетика. Девятнадцатая всероссийская (одинадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Материалы конференции*. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. 2024; 1: 106. EDN MESPDV
4. Лебедев В.А., Карабута В.С. Обоснование выбора типа энергоустановки для систем энергоснабжения предприятий агропромышленного комплекса. *Вестник аграрной науки Дона*. 2017; (1): 49–56. EDN YLXXIF
5. Лашина Н.А. Разработка мероприятий по повышению эффективности работы систем теплоснабжения объекта от автономного источника тепла. *Инновационные технологии и стратегии для повышения энергоэффективности в теплоэнергетических системах. Сборник научных статей всероссийской научно-практической конференции*. Курск: Университетская книга. 2025; 189–191. EDN WOSQLZ
6. Воронин С.М., Бадрудинова А.Н., Линенко А.В., Цыганов В.В. Особенности автономного энергоснабжения сельскохозяйственных объектов в Республике Калмыкия. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2025; (4): 95–101. EDN QRRNTA
7. Лявина М.Ю., Купряхин С.М. Обеспечение АПК топливно-энергетическими ресурсами: механизм и эффекты. *Актуальные проблемы и перспективы аграрной науки. Сборник статей национальной научно-практической конференции с международным участием*. Саратов: Вавиловский университет. 2024; 217–223. EDN EYTXH

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. Ivashkin V.S., Burkov A.I., Gordeyeva I.S., Otavina R.V. Trends in autonomous power supply of livestock facilities. *Agrotechnologies of the 21st century: development strategy, technologies, and innovations. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Perm: OT i DO. 2022; 289–293 (in Russian). EDN KUFYXQ
2. Orlova S.S., Pankova T.A., Mirkina E.N. Analysis of the efficiency of heat supply systems. *Fundamentals of rational nature management. Proceedings of the XI national conference with international participation*. Saratov: Vavilov University. 2025; 395–400 (in Russian). EDN EUHLDO
3. Novikova E.D. Improving the efficiency of energy supply for autonomous facilities. *Thermal Power Engineering. Nineteenth All-Russian (Eleventh International) scientific and technical conference of students, postgraduates, and young scientists. Proceedings*. Ivanovo: Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin. 2024; 1: 106 (in Russian). EDN MESPDV
4. Lebedev V.A., Karabuta V.S. Justification of the choice of the type of power plant for power supply systems of enterprises of the agro-industrial complex. *Don agrarian science bulletin*. 2017; (1): 49–56 (in Russian). EDN YLXXIF
5. Lashina N.A. Development of measures to improve the efficiency of facility heating systems using an autonomous heat source. *Innovative technologies and strategies for improving energy efficiency in heat and power systems. Collection of scientific articles from the All-Russian scientific and practical conference*. Kursk: Universitetskaya kniga. 2025; 189–191 (in Russian). EDN WOSQLZ
6. Voronin S.M., Badrudinova A.N., Linenko A.V., Tsyganov V.V. Features of Autonomous Energy Supply for Agricultural Facilities in the Republic of Kalmykia. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2025; (4): 95–101 (in Russian). EDN QRRNTA
7. Lyavina M.Yu., Kupryachin S.M. Providing the agricultural industry with fuel and energy resources: mechanism and effects. *Current problems and prospects of agricultural science. Collection of articles of the National scientific and practical conference with international participation*. Saratov: Vavilov University. 2024; 217–223 (in Russian). EDN EYTXH

8. Челухин В.А., Васильев А.В., Абрамсон Е.В., Аунг П.З., Гринкрэг М.С. Преобразователь энергии суточного перепада температур для электроснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022; 69(2): 54–58. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-2-54-58>
9. Зенкевич М.Ю., Прокофьев В.Е., Янович К.В. Вариант схемы гарантированного энергоснабжения автономных объектов на базе комбинированных энергоустановок. *Система знаний: процессы развития современной научной мысли. Сборник научных трудов*. Казань: СитИвент. 2021; 193–197. EDN IKGBJE
10. Панова А.А. Сравнительная характеристика централизованного и автономного теплоснабжения в жилищном строительстве. *Инновационная наука*. 2020; (12): 39–40. EDN RLEVSU
11. Кабанов О.В. Энергоэффективная автономная система теплоснабжения. *Взгляд ученого*. 2019; (1-1): 2–14. EDN PJEMXP
12. Мансурова Ш.П. Децентрализация — один из способов энергоэффективности теплоснабжения. *Академическая публицистика*. 2020; (10): 30–35. EDN OOVNBH
13. Петко В.Г., Фомин М.Б., Рахимжанова И.А., Колесников А.Б., Садчиков А.С., Колесникова И.В. Обзор, анализ и перспективы использования теплогенерирующих ветроустановок в системах отопления и горячего водоснабжения. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; (4): 190–196. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-190-196>
14. Петко В.Г., Рахимжанова И.А., Фомин М.Б., Колесников А.Б., Садчиков А.С., Колесникова И.В. Обзор и оценка конструктивных схем ветродизель-электрических установок. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022; (1): 135–141. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-135-140>
15. Шеповалова О.В. Использование возобновляемых источников энергии в комплексных системах энергообеспечения сельских зданий. *Ползуновский вестник*. 2011; (2-2): 175–180. EDN BPPIXR
16. Морозов А.А., Добрянский Р.Ф., Горошко С.Д., Максимов Е.А., Загорская С.Е., Гулевич А.И. Автономные системы газоснабжения для удаленных территорий. *Вестник евразийской науки*. 2024; 16(6). EDN JOEDAN
17. Петко В.Г., Рахимжанова И.А., Шалева М.А. Ветроустановка для теплоснабжения автономных объектов на селе. *Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем. Материалы международной научно-практической конференции*. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет. 2018; 131–133. EDN HQAEXU
18. Погонин А.О. Особенности формирования энергоэффективных автономных жилых зданий. *Архитектура и современные информационные технологии*. 2010; (4): 13. EDN MWLNSN
19. Григораш О.В., Денисенко Е.А., Коломейцев А.Э., Барышев П.М. Структурно-схемные решения мобильных энергосистем и алгоритм их работы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика»*. 2024; 24(3): 12–19. <https://doi.org/10.14529/power240302>
20. Коу Ц., Чжоу С., Муровский С.П. Проектирование системы автономного энергоснабжения жилого объекта на базе возобновляемых источников энергии. *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Труды Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи с международным участием*. Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения. 2025; 1: 498–501. EDN UHSFTN
21. Карелина М.Ю., Ключев Р.В., Сердечный Д.В. Технико-экономическое обоснование солнечной электростанции для энергоснабжения автономных объектов АПК на труднодоступных территориях. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2025; (10): 74–80. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-252-10-74-80>
22. Петко В.Г., Рахимжанова И.А., Фомин М.Б., Колесников А.Б., Садчиков А.С., Соловьев С.А. Автономная ветроэнергетическая установка. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; (3): 181–186. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-181-186>
23. Юдаев И.В., Попов М.Ю., Попова Р.В. Автономная теплица, функционирующая на возобновляемых энергоресурсах. *Вестник аграрной науки Дона*. 2020; (1): 33–42. EDN YFKBKG
24. Изотова Е.А., Чеботарев А.С. Использование возобновляемых источников энергии при энергоснабжении жилых зданий. *Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений*. Межвузовский научный сборник. Саратов. 2021; 46: 83–87. EDN AGCNXI
25. Евменчик А.С. Исследование эффективности использования энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии для комплексного электроснабжения удаленных потребителей. *Международный технико-экономический журнал*. 2021; (2): 116–124. <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2021-77-2-116-124>
26. Абдурахманов Р.Н., Асанов М.М., Бекиров Э.А., Кувшинов В.В., Коломийченко В.П. Оптимизация энергоснабжения удаленных сельских потребителей в Республике Крым при использовании ветроэнергетических установок. *Энергетические установки и технологии*. 2025; 11(3): 95–99. EDN LPTVTG
27. Мехтиев А.Д. и др. Системы теплоснабжения автономных объектов с использованием комбинированных возобновляемых источников. *Современные научные исследования и разработки*. 2018; (12-1): 412–416. EDN YKPKQL
28. Оразбекова А., Мехтиев А., Олжабай А.Ш. Разработка передвижного ветрогенератора со складывающимися лопатками для энергоснабжения потребителей сельской местности. *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2024; 16(2): 177–185. EDN JYGFJN
29. Петко В.Г., Фомин М.Б., Фомина Л.Р. Использование энергии ветра для электро- и теплоснабжения автономных объектов сельскохозяйственного производства. *Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем. Материалы международной научно-практической конференции*. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет. 2018; 174–178. EDN ISBZXB
30. Петко В.Г., Христиановская М.А., Кузьмин А.В. Приобъектный ветрозлектрический агрегат. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (6): 156–160. EDN IPYIK
31. Насирдинова С.М. Комбинированные системы теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии. *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. 2018; (4): 122–128. EDN ZARNVR
8. Cheluhin V.A., Vasiliev A.V., Abramson E.V., Aung P.Z., Grinkrug M.S. Application of a day-night temperature difference energy converter for power supply of remote agricultural facilities. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2022; 69(2): 54–58 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-2-54-58>
9. Zenkevich M.Yu., Prokof'yev V.Ye., Yanovich K.V. A variant of a scheme for guaranteed power supply of autonomous objects based on combined power plants. *Knowledge system: processes of development of modern scientific thought. Collection of scientific papers*. Kazan: SitIvent. 2021; 193–197 (in Russian). EDN IKGBJE
10. Panova A.A. Comparative characteristics of centralized and autonomous heat supply in housing construction. *Innovation science*. 2020; (12): 39–40 (in Russian). EDN RLEVSU
11. Kabanov O.V. Energy-efficient autonomous heating system. *Vzglyad uchenogo*. 2019; (1-1): 2–14 (in Russian). EDN PJEMXP
12. Mansurova Sh.P. Decentralization is one of the ways of energy efficiency of heat supply. *Akademicheskaya publitsistika*. 2020; (10): 30–35 (in Russian). EDN OOVNBH
13. Petko V.G., Fomin M.B., Rakhimzhanova I.A., Kolesnikov A.B., Sadchikov A.S., Kolesnikova I.V. Review, analysis and prospects for the use of heat-generating wind turbines in heating and hot water supply systems. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; (4): 190–196 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-190-196>
14. Petko V.G., Rakhimzhanova I.A., Fomin M.B., Kolesnikov A.B., Sadchikov A.S., Kolesnikova I.V. Review and evaluation of design schemes wind-diesel-electric installations. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; 93(1): 135–141 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-135-140>
15. Shepvalova O.V. Use of renewable energy sources in integrated energy supply systems for rural buildings. *Polzunovskiy vestnik*. 2011; (2-2): 175–180 (in Russian). EDN BPPIXR
16. Morozov A.A., Dobryansky R.F., Goroshko S.D., Maximov E.A., Zagorskaya S.E., Gulevich A.I. Autonomous gas supply systems for remote areas. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024; 16(6) (in Russian). EDN JOEDAN
17. Pet'ko V.G., Rakhimzhanova I.A., Shaleva M.A. Wind turbine for heating autonomous rural facilities. *Improving engineering and technical support for production processes and technological systems. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Orenburg: Orenburg State Agrarian University. 2018; 131–133 (in Russian). EDN HQAEXU
18. Pogonin A. Features of formation of the power effective autonomous residential buildings. *Architecture and modern information technologies*. 2010; (4): 13 (in Russian). EDN MWLNSN
19. Grigorash O.V., Denisenko E.A., Kolomeitsev A.E., Baryshev P.M. Structural and schematic solutions for mobile devices power systems and their operation algorithm. *Bulletin of South Ural State University. Series "Power Engineering"*. 2024; 24(3): 12–19 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/power240302>
20. Kou Qi.Y., Zhou Si.Yu., Murovskiy S.P. Design of an autonomous power supply system for a residential facility based on renewable energy sources. *Scientific, technical and economic cooperation of Asia-Pacific countries in the 21st century. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference of creative youth with international participation*. Khabarovsk: Far Eastern State Transport University. 2025; 1: 498–501 (in Russian). EDN UHSFTN
21. Karelnina M.Yu., Klyuev R.V., Serdechniy D.V. Feasibility study for a solar power plant to deliver power to autonomous agricultural facilities in hard-to-reach areas. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2025; (10): 74–80 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-252-10-74-80>
22. Petko V.G., Rakhimzhanova I.A., Fomin M.B., Kolesnikov A.B., Sadchikov A.S., Solov'yov S.A. Autonomous wind power plant. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; (3): 181–186 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-181-186>
23. Yudaev I.V., Popov M.Yu., Popova R.V. Autonomous greenhouse running on renewable energy resources. *Don agrarian science bulletin*. 2020; (1): 33–42 (in Russian). EDN YFKBKG
24. Izotova E.A., Chebotarev A.S. Estimation of the potential of use renewable energy sources in the power supply of residential buildings. *Improving methods of hydraulic calculations of water-conducting and treatment facilities. Interuniversity scientific collection*. Saratov. 2021; 46: 83–87 (in Russian). EDN AGCNXI
25. Evmenchik A.S. Study of the efficiency of energy complexes based on renewable energy sources for integrated power supply to remote consumers. *International technical and economic journal*. 2021; (2): 116–124 (in Russian). <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2021-77-2-116-124>
26. Abdurakhmanov R.N., Asanov M.M., Bekirov E.A., Kuvshinov V.V., Kolomyichenko V.P. Optimization of energy supply for remote rural areas in the republic of crimea through the use of wind energy systems. *Power plants and technologies*. 2025; 11(3): 95–99 (in Russian). EDN LPTVTG
27. Mekhtiyev A.D. et al. Heat supply systems for autonomous facilities using combined renewable sources. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki*. 2018; (12-1): 412–416 (in Russian). EDN YKPKQL
28. Orazbekova A., Mehdiyev A., Olzhabay A.S. Development of a mobile wind generator with folding blades for power supply to rural consumers. *Kazan State Power Engineering University Bulletin*. 2024; 16(2): 177–185 (in Russian). EDN JYGFJN
29. Pet'ko V.G., Fomin M.B., Fomina L.R. Using wind energy for electricity and heat supply of autonomous agricultural production facilities. *Improving engineering and technical support for production processes and technological systems. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Orenburg: Orenburg State Agrarian University. 2018; 174–178 (in Russian). EDN ISBZXB
30. Petko V.G., Khristianovskaya M.A., Kuzmin A.V. Onsite wind power unit. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (6): 156–160 (in Russian). EDN IPYIK
31. Nasiridinova S.M. Combined heat supply systems based on renewable energy sources. *The Bulletin of I. Razzakov Kyrgyz State Technical University*. 2018; (4): 122–128 (in Russian). EDN ZARNVR

32. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Афоничев Д.Н., Григорьев В.И., Дмитриева И.Н., Григорьев Г.В. Альтернативные источники энергии для автономного энергоснабжения удаленных объектов сельского хозяйства и лесного комплекса. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022; 15(1): 71–81. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_71

33. Христиановская М.А., Петько В.Г. Опыт и перспективы использования ветронасосных установок для отгонных пастбищ. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019; (6): 165–169. EDN NOCFIS

34. Воронин С.М., Украинцев М.М. Автономные системы электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии для сельских объектов. *Вестник аграрной науки Дона*. 2022; 15(4): 82–94. https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_4_82-94

35. Шишкин Н.Д., Ильин Р.А. Исследование параметров вихревых ветроэнергостановок для автономного энергоснабжения объектов. *Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. Материалы XVII Международной научно-технической конференции*. Саратов: ГСТУ имени Гагарина Ю.А. 2024; 12: 288–294. EDN SUOIQT

36. Гусарова Е.В., Харченко В.В., Гусаров В.А., Жуков К.В. Применение автономных систем электроснабжения на возобновляемых источниках энергии для снижения аварийности сельхозтехники в агропромышленных районах России. *Вестник аграрной науки Дона*. 2022; 15(2): 81–91. https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_2_81-91

ОБ АВТОРАХ

Ильмира Агзамовна Рахимжанова¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой электротехнологий и электрооборудования
kaf-36@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9382-3943>

Виктор Гаврилович Петько¹

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электротехнологий и электрооборудования
vgpetko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8214-8732>

Владимир Валерьевич Пугачев¹

кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
pvv056@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5172-5077>

Максим Борисович Фомин¹

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
mbfom@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1190-7842>

Владислав Анатольевич Пушко¹

кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
vlad7826@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2019-3658>

Алексей Сергеевич Байков¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
56.bas@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9531-4712>

Владимир Иванович Косилов¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства
kosilov_vi@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Альфия Фагитовна Абдюкаева¹

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
alfa2712@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6914-1416>

Нуркен Маратович Губашев²

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, институт ветеринарии и агротехнологии
n_gubashev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>

¹Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, ул. им. Жангир хана, 51, Уральск, 090009, Казахстан

32. Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V., Afonichev D.N., Grigoriev V.I., Dmitrieva I.N., Grigoriev G.V. Alternative energy sources for autonomous power supply of remote facilities in agriculture and forestry. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022; 15(1): 71–81 (in Russian). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_71

33. Khristianovskaya M.A., Petko V.G. Experience and prospects of using wind pump plants for distant pastures. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019; (6): 165–169 (in Russian). EDN NOCFIS

34. Voronin S.M., Ukraintsev M.M. Autonomous power supply systems based on renewable energy sources for rural facilities. *Don agrarian science bulletin*. 2022; 15(4): 82–94 (in Russian). https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_4_82-94

35. Shishkin N.D., Il'in R.A. Study of the parameters of vortex wind turbines for autonomous power supply of facilities. *Problems of improving the fuel and energy complex. Proceedings of the XVII International scientific and technical conference*. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 2024; 12: 288–294 (in Russian). EDN SUOIQT

36. Gusarova E.V., Kharchenko V.V., Gusarov V.A., Zhukov K.V. Application of autonomous power supply systems on renewable energy sources to reduce agricultural machinery emergencies in agricultural regions of Russia. *Don agrarian science bulletin*. 2022; 15(2): 81–91 (in Russian). https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_2_81-91

ABOUT THE AUTHORS

Ilmira Agzamovna Rakhimzhanova¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
kaf-36@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9382-3943>

Viktor Gavrilovich Petko¹

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
vgpetko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8214-8732>

Vladimir Valerievich Pugachev¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
pvv056@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5172-5077>

Maxim Borisovich Fomin¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
mbfom@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1190-7842>

Vladislav Anatolyevich Pushko¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
vlad7826@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2019-3658>

Alexey Sergeevich Baykov¹

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
56.bas@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9531-4712>

Vladimir Ivanovich Kosilov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Livestock Production and Processing Technology
kosilov_vi@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Alfiya Fagitovna Abdyyukaeva¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
alfa2712@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6914-1416>

Nurken Maratovich Gubashev²

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Institute of Veterinary Science and Agricultural Technology
n_gubashev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>

¹Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev st., Orenburg, 460014, Russia

²Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, 51 Zhangir Khan st., Uralsk, 090009, Kazakhstan

М.А. Прец

В.Э. Зинуров ✉

Казанский государственный
энергетический университет, Казань,
Россия

✉ vadd_93@mail.ru

Поступила в редакцию: 24.02.2026

Одобрена после рецензирования: 17.07.2026

Принята к публикации: 01.08.2026

© Прец М.А., Зинуров В.Э.

Оценка геометрического масштабирования мультивихревого воздушного классификатора для линий переработки пищевых порошков

РЕЗЮМЕ

Контроль гранулометрического состава мелкодисперсных порошкообразных материалов является важной инженерной задачей для АПК и пищевых производств, поскольку влияет на устойчивость технологических режимов, качество смешения, точность дозирования и уровень запыленности. Традиционные способы разделения частиц в области размеров менее 100 мкм часто ограничены по селективности и производительности, что определяет необходимость разработки новых аппаратов сухой воздушной классификации. В работе предложен мультивихревой воздушный классификатор, обеспечивающий селективное разделение и частичное обеспыливание порошков без изменения их влажности. Целью исследования стала количественная оценка влияния геометрического масштабирования аппарата и скорости входного газа на показатели разделения частиц, характерных для материалов агропромышленного и пищевого назначения. Исследование выполнено методом вычислительной гидродинамики в программном комплексе ANSYS Fluent с лагранжевым моделированием дисперсной фазы. Рассмотрены скорости входного потока 1–15 м/с и масштабы конструкции 0,5–8 относительно базового типоразмера. Показано, что при увеличении геометрического масштаба аппарата диаметр граничного зерна смещается в область более крупных частиц, а селективность разделения снижается. Установлено, что повышение скорости входного газа до 10–15 м/с способствует формированию более резкого разделения и повышению селективности, что делает указанный диапазон скоростей предпочтительным для практического применения аппарата в режиме классификации. Потери давления в исследованном диапазоне режимов остаются умеренными и не превышают 550 Па. Полученные результаты подтверждают перспективность использования мультивихревого классификатора в линиях кормопроизводства, подготовки премиксов и сухих пищевых ингредиентов.

Ключевые слова: мультивихревой классификатор, воздушная классификация, сухое фракционирование, мелкодисперсные порошки, фракционная эффективность, геометрическое масштабирование, селективность разделения, порошковые пищевые материалы

Для цитирования: Прец М.А., Зинуров В.Э. Оценка геометрического масштабирования мультивихревого воздушного классификатора для линий переработки пищевых порошков. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 160–167.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-160-167>

Assessment of geometric scaling of a multi-vortex air classifier for food powder processing lines

ABSTRACT

Control of the particle size distribution of fine powdered materials is an important engineering task for the agro-industrial sector and food processing, since it affects process stability, mixing quality, dosing accuracy, and dust generation levels. Conventional particle separation methods for sizes below 100 µm are often limited in selectivity and throughput, which creates a need for new dry air classification devices. In this study, a multi-vortex air classifier is proposed to provide selective separation and partial dedusting of powders without changing their moisture content. The aim of the study was to quantitatively assess the influence of geometric scaling of the apparatus and inlet gas velocity on particle separation performance for materials typical of agro-industrial and food applications. The study was carried out using computational fluid dynamics in ANSYS Fluent with Lagrangian modeling of the dispersed phase. Inlet gas velocities of 1–15 m.s and scale factors of 0.5–8 relative to the base design were considered. It is shown that increasing the geometric scale of the classifier shifts the cut size toward larger particles and reduces separation selectivity. It was found that increasing the inlet gas velocity to 10–15 m.s promotes a sharper separation transition and improves selectivity, making this velocity range preferable for practical operation of the classifier in classification mode. Pressure losses remain moderate over the studied operating range and do not exceed 550 Pa. The obtained results confirm the potential of the multi-vortex classifier for feed production lines, premix preparation, and dry food ingredient processing.

Key words: multi-vortex classifier, air classification, dry fractionation, fine powders, fractional efficiency, geometric scaling, separation selectivity, powdered food materials

For citation: Prets M.A., Zinurov V.E. Assessment of geometric scaling of a multi-vortex air classifier for food powder processing lines. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 160–167 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-160-167>

Mariia A. Prets

Vadim E. Zinurov ✉

Kazan State Power Engineering
University, Kazan, Russia

✉ vadd_93@mail.ru

Received by the editorial office: 24.02.2026

Accepted in revised: 17.07.2026

Accepted for publication: 01.08.2026

© Prets M.A., Zinurov V.E.

Введение/Introduction

Контроль гранулометрического состава порошкообразных материалов является технологически значимым для широкого круга операций АПК и пищевых производств, где качество продукта и стабильность процесса зависят от доли тонкой и целевой фракций [1–3]. При этом размерный состав порошка непосредственно определяет его сыпучесть и склонность к сводообразованию в бункерах, точность дозирования и воспроизводимость подачи в смесители, однородность распределения функциональных добавок в премиксах и сухих композициях, а также интенсивность пылеобразования при транспортировании и фасовке [4–6]. Для ряда органических, микрокапсулированных, пищевых и кормовых порошков эти эффекты проявляются особенно заметно вследствие высокой аэродинамической чувствительности частиц и возрастания роли межчастичных взаимодействий, зависящих от дисперсности, формы и поверхностных свойств [7, 8]. В результате задача управляемого сухого фракционирования приобретает инженерный смысл как задача обеспечения устойчивой работы технологических линий при одновременном снижении потерь продукта и нагрузок на системы аспирации и пылеулавливания [9].

В производственных условиях основная проблема состоит в том, что традиционные решения для разделения по крупности в области мелкодисперсных частиц, как правило, менее 100 мкм, часто оказываются либо недостаточно производительными, либо нестабильными по качеству фракции при изменении влажности, исходной дисперсности и склонности материала к агломерации. Ситовая классификация в зоне малых размеров ограничивается снижением пропускной способности при формировании плотного слоя на поверхности, а также явлениями засорения и забивания апертур, что приводит к дрейфу характеристик и росту времени обработки [10]. Мокрые методы разделения в ряде случаев обеспечивают более узкое фракционирование, однако требуют введения жидкости и последующих операций обезживания и сушки, что увеличивает энергоемкость и усложняет санитарно-гигиенические и технологические требования, поэтому для линий сухих смесей и сухих ингредиентов их применение ограничено [11]. В связи с этим актуальными становятся сухие методы разделения в воздушном потоке, включая воздушную классификацию и другие варианты сухого фракционирования, позволяющие получать фракции без изменения влажности и без перехода к схемам с энергоемкой сушкой [12–15].

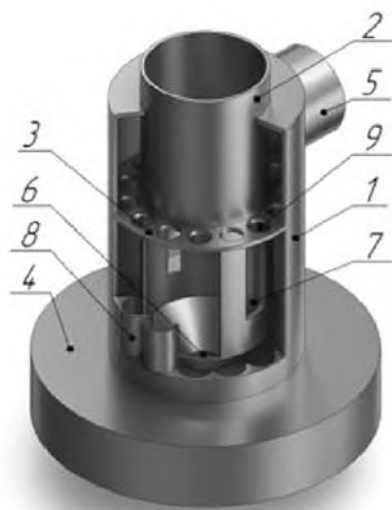
На практике для сухого разделения порошков в воздушном потоке используют несколько классов аппаратов и схем. Циклонные и мультициклонные устройства отличаются простотой, устойчивостью к запыленности и сравнительно невысокими эксплуатационными затратами, однако при работе с мелкодисперсными фракциями (как правило,

менее 100 мкм) их возможности по селективному разделению ограничены, а повышение эффективности нередко сопровождается ростом потери давления и усложнением конструкции [16]. Зигзагообразные и гравитационно-пневматические каналы применяются в операциях пневмосепарации и очистки зернового материала, однако при переходе к тонкодисперсным порошкам возрастают требования к равномерности питания и стабильности расхода воздуха, а также усиливается влияние когезии, формы частиц и агломерации, что снижает воспроизводимость качества разделения [17–19]. Центробежные воздушные классификаторы роторного типа способны обеспечивать более тонкое фракционирование и непрерывность процесса, но требуют точной настройки аэродинамического режима и устойчивой дисперсии подачи, а также могут характеризоваться повышенными потерями давления, что увеличивает энергопотребление вентиляции и нагрузку на аспирацию [20–23]. Для пищевых и кормовых производств дополнительно значимы требования по снижению запыленности и минимизации выбросов, поскольку тонкая фракция влияет на санитарные условия, потери продукта и безопасность, включая риски пылевых пожаров и взрывов при обращении с горючими пылящими материалами [24–26]. Совокупность указанных ограничений определяет актуальность разработки новых аппаратов воздушной классификации и модернизации существующих схем сухого фракционирования, ориентированных на устойчивое качество разделения при приемлемых энергозатратах.

Авторами статьи предлагается разработанная модель мультивихревого воздушного классификатора (см. рис. 1). В аппарате фракционирование происходит за счет совместного действия аэродинамических и центробежных сил в закрученном восходящем потоке, формируемом в кольцевом рабочем канале между корпусом 1 и внутренней соосной трубой 2 [27]. Газопылевая смесь подается в аппарат через трубу 2, далее поток разделяется на две составляющие. Часть газа через отверстия 7, ориентированные под углом к горизонтали, перетекает в кольцевое пространство и образует тангенциальные струи, которые инициируют систему устойчивых вихревых ячеек [28]. Для стабилизации вихревой структуры и уменьшения межзонного переноса частиц в кольцевом канале установлены дугообразные направляющие элементы 8, задающие организованное движение дисперсной фазы в пределах каждой вихревой зоны. Оставшаяся часть потока продолжает движение по центральному каналу вниз, в области конического днища 6 разворачивается и формирует восходящий осевой поток, направленный к выходному патрубку 5. Вихревая структура в кольцевом канале и осевой восходящий поток обеспечивают селективное разделение: укрупненные частицы преимущественно смещаются к периферии, теряют

Рис. 1. Мультивихревой воздушный классификатор (вид с разрезами): 1 — корпус; 2 — внутренняя соосная труба ввода газопылевой смеси; 3 — экран; 4 — пылесборный бункер; 5 — патрубок вывода очищенного газа и тонкой фракции; 6 — коническое днище; 7 — отверстия для формирования тангенциальных струй; 8 — дугообразные направляющие элементы; 9 — радиальные отверстия (переточные каналы) для стабилизации режима¹

Fig. 1. Multi-vortex air classifier (sectional view): 1 — housing; 2 — inner coaxial inlet pipe for the gas-particle mixture; 3 — baffle (screen); 4 — dust collection hopper; 5 — outlet nozzle for the cleaned gas and the fine fraction; 6 — conical bottom; 7 — openings for generating tangential jets; 8 — arcuate guide vanes; 9 — radial openings (transfer channels) for flow-regime stabilization



скорость и выводятся в пылесборную зону 4, тогда как более легкая и тонкая фракция уносится восходящим потоком и выводится через патрубок 5. Для выравнивания распределения расхода и стабилизации гидродинамики в рабочей зоне предусмотрены радиальные отверстия 9, а экран 3 выполняет функцию локализации и экранирования зоны вихреобразования, снижая влияние входных возмущений на структуру потока и воспроизводимость разделения.

Актуальной задачей является адаптация предлагаемого мультивихревого воздушного классификатора к таким геометрическим параметрам, которые обеспечивают селективное выделение требуемых фракций с характерными размерами частиц менее 100 мкм при работе с порошкообразными материалами агропромышленного и пищевого назначения, включая сухие кормовые компоненты, премиксы и порошковые пищевые ингредиенты.

Целью работы является количественная оценка влияния геометрического масштабирования мультивихревого классификатора на достижимость узкого фракционного состава указанных материалов, предназначенных для последующих операций дозирования, смешения и пневмотранспортирования в технологических линиях АПК.

Материал и методы исследования / Material and methods

Оценка влияния геометрического масштабирования на характеристики разделения в мультивихревом воздушном классификаторе выполнялась методом вычислительной гидродинамики. В качестве базовой геометрии принят типоразмер $M = 1$, для которого диаметр внутренней трубы подачи газопылевого потока составлял 40 мм, внутренний диаметр корпуса 74 мм, ширина кольцевого рабочего зазора 15 мм, высота щелевых элементов 28 мм. Масштабирование осуществлялось геометрически подобным образом путем умножения всех линейных размеров базовой модели на коэффициент M . В ходе работы были рассмотрены значения $M = 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8$. Значения коэффициента масштабирования M были выбраны как параметрический ряд, охватывающий широкий диапазон геометрически подобных типоразмеров аппарата, что позволило оценить влияние масштаба на характеристики разделения в условиях геометрически подобного изменения конструкции.

Расчетную сетку формировали на основе полиэдрических ячеек с призматическими слоями в пристеночной области для корректного разрешения пограничного слоя и касательных напряжений. Сеточную независимость контролировали по стабилизации интегральных показателей, включая потери давления и фракционную эффективность, при последовательном измельчении сетки. Газовую фазу рассчитывали в стационарной постановке на основе уравнений RANS для несжимаемой среды. Для замыкания турбулентности применяли модель $k-\omega$ SST, адекватную для закрученных течений с выраженными градиентами скорости и возможными зонами отрыва [29].

Дисперсную фазу моделировали в лагранжевой постановке с использованием Discrete Phase Model (DPM)² [30]. Частицы вводили как монодисперсные фракции с диаметрами $d = 1-100$ мкм. Плотность частиц в расчетах принимали равной $\rho_d = 1000$ кг/м³ как репрезентативное значение для ряда порошкообразных материалов агропромышленного и пищевого назначения, близких по плотности к водным и органическим дисперсным фазам. К этой группе относятся, в частности, крахмалсодержащие порошки и мукомольные продукты, а также многие сахаросодержащие и белково-углеводные смеси, порошковые кормовые компоненты и премиксы на основе органических носителей, включая композиции с микрокапсулированными добавками (витаминно-минеральные и функциональные ингредиенты), для которых характерны плотности порядка $(0,9-1,3) \cdot 10^3$ кг/м³ в зависимости от пористости,

¹ Прец М.А., Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Вдовина В.А. Патент RU 238025 U1, Российская Федерация. Мультивихревой пылеуловитель-классификатор. Опубликовано 16.10.2025.

² ANSYS, Inc. Ansys Fluent Theory Guide. Release 2025 R1. 2025.

влажности и рецептуры. При малой объемной доле твердой фазы использовали допущение одностороннего взаимодействия фаз, при котором движение частиц определяется полем скоростей газовой фазы.

В качестве граничных условий на входе во внутреннюю трубу задавали скорость газа $W = 1\text{--}15$ м/с. На выходном сечении расчетной области задавали условие фиксированного статического давления, соответствующего атмосферному. На нижней поверхности пылесборной зоны задавали улавливание частиц, на остальных стенках принимали отражение частиц. Потери давления определяли как разность массово-усредненных полных давлений между входом и выходом расчетной области.

Качество разделения оценивали по фракционной эффективности $E(d)$, определяемой как отношение числа частиц, попавших в пылесборную зону, к общему числу введенных частиц для каждой монодисперсной фракции. Для параметрического описания S-образных зависимостей $E(d)$ применяли логистическую аппроксимацию с учетом возможного неселективного проскока части потока (1).

$$E = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + e^{-k_c(d-d_{50c})}}, \quad (1)$$

где E_0 и E_∞ — нижняя и верхняя асимптота логистической кривой соответственно.

Параметры аппроксимирующей зависимости определяли методом наименьших квадратов по дискретным расчетным значениям $E(d)$, полученным для отдельных монодисперсных фракций.

По аппроксимированной зависимости (2) определяли скорректированный диаметр граничного зерна d_{50c} , соответствующий размеру частиц, для которого скорректированная фракционная эффективность достигает уровня 0,5 (половина частиц данного размера улавливается, а половина покидает аппарат), и параметр кривизны k_c , характеризующий крутизну S-образного перехода на кривой $E(d)$ (чем больше k_c , тем резче разделение и тем уже переходная зона по крупности).

$$E_c = \frac{1}{1 + e^{-k_c(d-d_{50c})}}, \quad (2)$$

Резкость разделения характеризовали индексом S_c , вычисляемым через характерные размеры частиц d_{75c} и d_{25c} , соответствующие уровням эффективности 0,25 и 0,75 на скорректированной кривой (3).

$$S_c = \frac{d_{75c}}{d_{25c}}, \quad (3)$$

Результаты и обсуждение / Results and discussion

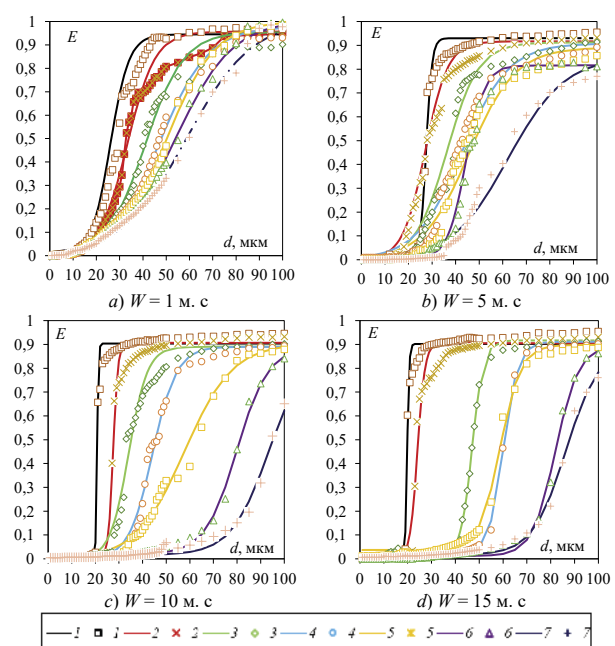
Результаты численного моделирования (см. рис. 2–5) показали, что геометрическое масштабирование и режим по скорости входного газа совместно определяют положение разделительного размера и селективность работы мультивихревого воздушного классификатора. В целом увеличение масштаба M приводит к смещению переходной области разделения в сторону более крупных частиц и снижению резкости разделения, тогда как повышение скорости W (особенно при $W \geq 10$ м/с) способствует формированию более выраженного перехода на кривых $E(d)$.

Зависимости фракционной эффективности $E(d)$ для частиц плотностью $\rho_d = 1000$ кг/м³ имеют выраженный S-образный вид. При малых размерах d эффективность близка к нулю, далее следует переходная область, после чего формируется верхнее плато E_∞ . При увеличении масштаба M переходная область систематически смещается в сторону больших d , а крутизна кривой, как правило, снижается, что соответствует ухудшению селективности разделения (см. рис. 2, а–д).

При скорости входного газа $W = 1$ м/с реализуется режим с минимальной интенсивностью аэродинамического воздействия, при котором верхнее плато E_∞ кривых $E(d)$ для всех масштабов сохраняется высоким. Для малых типоразмеров $M = 0,5\text{--}1$ рост эффективности начинается при меньших d , и переходная область располагается левее по сравнению с крупными масштабами. При увеличении масштаба до $M = 6\text{--}8$ переходная область $E(d)$ смещается в область больших d , что означает

Рис. 2. Фракционная эффективность $E(d)$ мультивихревого воздушного классификатора при различных масштабах M (1 — 0,5; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3; 5 — 4; 6 — 6; 7 — 8) и скоростях газа на входе W , м. с

Fig. 2. Fractional efficiency $E(d)$ of the multi-vortex air classifier at different scale factors M (1 — 0,5; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3; 5 — 4; 6 — 6; 7 — 8) and inlet gas velocities W , m. s



снижение эффективности улавливания частиц при фиксированной скорости W . С инженерной точки зрения это неблагоприятно для режима пылеулавливания, поскольку приводит к росту доли частиц, уносимых через выход тонкой фракции, а в режиме классификации сопровождается сдвигом разделительного размера в сторону укрупнения и, как правило, уменьшением резкости перехода, что ограничивает возможность получения узких фракций (см. рис. 2, а).

При увеличении скорости до $W = 5$ м/с, как показано на рис. 2, б, влияние масштабирования проявляется отчетливее. Для $M = 0,5$ –2 S-образные кривые сохраняют высокую крутизну переходной области, а рост $E(d)$ начинается при меньших d . Для $M = 3$ –4 переходная область смещается к более крупным размерам, при $M = 6$ –8 переходная область переносится вправо и становится более протяженной.

Важно отметить, что по сравнению с режимом $W = 1$ м/с при $W = 5$ м/с в целом наблюдается тенденция к повышению резкости разделения (см. рис. 2, а), что проявляется в более крутом переходе S-образных зависимостей $E(d)$ и формировании более узкой переходной зоны по крупности.

При скоростях $W = 10$ –15 м/с (см. рис. 2, с и d) различия между масштабами проявляются наиболее отчетливо. Для малых типоразмеров $M = 0,5$ –1 переход к верхнему плато происходит быстрее и при меньших размерах d , тогда как при $M = 2$ –4 переходная область смещается в сторону более крупных частиц и становится более протяженной. Для крупных масштабов $M = 6$ –8 рост $E(d)$ замедляется.

Принципиально важно, что при $W \geq 10$ м/с (см. рис. 2, с и d) S-образные зависимости приобретают более выраженную переходную область относительно $W \leq 5$ м/с (см. рис. 2, а и б), что можно связать с интенсификацией вихревых структур в кольцевом канале и, как следствие, с усилением разделяющего действия поля скоростей. В этих режимах для каждого масштаба становится возможным устойчиво идентифицировать характерные размеры разделения, что является практическим преимуществом. С одной стороны, повышается потенциал получения узких гранулометрических фракций, с другой стороны появляется возможность прогнозного подбора геометрии аппарата под заданную технологическую задачу на основе расчетных параметров.

Геометрическое масштабирование аппарата приводит к систематическому росту d_{50c} при всех рассмотренных значениях W , т. е. переходная область разделения смещается в сторону более крупных частиц при увеличении типоразмера (см. рис. 3).

При скорости $W = 1$ м/с увеличение масштаба M от 0,5 до 8 сопровождается ростом d_{50c} с 25,97 до 58,98 мкм. При $W = 5$ м/с характер изменения близок d_{50c} возрастает от 27,51 до 62,36 мкм, при этом

в области малых масштабов $M = 0,5$ –1 значения практически не различаются, а основной прирост проявляется при $M \geq 2$. Для $W = 10$ м/с влияние масштабирования становится существенно более выраженным: d_{50c} увеличивается от 20,75 мкм при $M = 0,5$ до 93,40 мкм при $M = 8$. Аналогичная тенденция наблюдается при $W = 15$ м/с, где d_{50c} возрастает от 19,83 до 86,30 мкм.

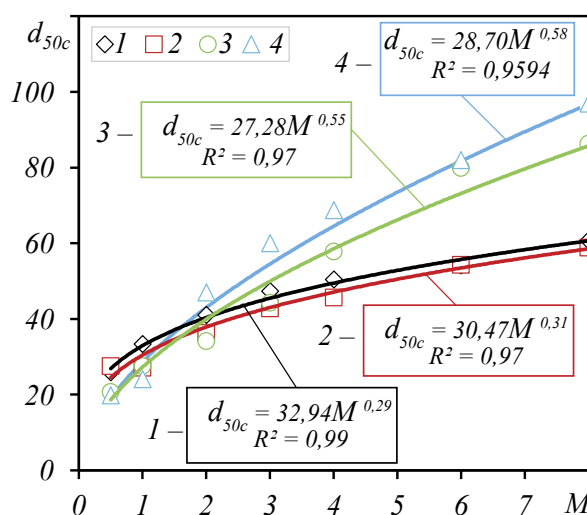
Сопоставление кривых на рис. 3 показывает, что чувствительность d_{50c} к масштабу зависит от скорости входного потока. Для $W = 1$ –5 м/с рост d_{50c} при переходе от $M = 0,5$ к $M = 8$ составляет порядка 2,3 раза, тогда как для $W = 10$ –15 м/с увеличение достигает 4,3–4,5 раза. Следовательно, при $W \geq 10$ м/с масштабирование оказывает более сильное влияние на положение разделительного размера, что согласуется с отмеченной выше интенсификацией вихревых структур и усилением роли траекторного переноса частиц в кольцевом канале (см. рис. 3).

Параметр кривизны логистической зависимости k_c в целом уменьшается при увеличении масштаба M для всех рассмотренных скоростей входного газа. Это соответствует расширению переходной области на кривых $E(d)$ и, следовательно, снижению селективности разделения при геометрическом укрупнении аппарата (см. рис. 4).

При $W = 1$ м/с наблюдается монотонное снижение k_c при изменении масштаба $M = 0,5$ –8 от 0,247 до 0,0718. При $W = 5$ м/с тенденция аналогична: k_c уменьшается от 0,802 до 0,0833, причем наиболее заметное снижение приходится на переход от малых масштабов $M = 0,5$ –1 к $M = 2$ –3, тогда как при $M \geq 3$ изменение k_c становится более плавным. Для $W = 10$ м/с зависимость выражена наиболее резко. При $M = 0,5$ k_c достигает 3,42, затем уменьшается до 0,97, при $M = 1$ и до 0,252 при

Рис. 3. Зависимость диаметра граничного зерна d_{50c} от масштаба M при различных скоростях входного газа W , м/с: 1 — 1; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 15

Fig. 3. Dependence of the corrected cut size d_{50c} on the scale factor M at different inlet gas velocities W , m/s: 1 — 1; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 15



$M = 2$. Дальнейшее увеличение масштаба значения стабилизируются на уровне порядка 0,1–0,2, достигая 0,126 при $M = 8$. Для $W = 15$ м/с k_c также уменьшается с ростом M .

Сопоставление режимов показывает, что зависимость $k_c(M)$ носит нелинейный характер и наиболее чувствительна к масштабированию в области малых M , особенно при повышенных скоростях входного газа. Иными словами, при переходе от $M = 0,5$ к $M = 1$ –2 происходит наиболее заметное изменение крутизны кривых $E(d)$, тогда как при дальнейшем геометрическом масштабировании аппарата снижение k_c становится более плавным. Для обобщения масштабного эффекта зависимости $k_c(M)$, полученные для каждого значения W , аппроксимировали степенными законами с удовлетворительным согласованием с расчетными данными. В совокупности результаты, как показано на рис. 4, подтверждают, что увеличение типоразмера аппарата приводит к уменьшению резкости перехода кривых $E(d)$, а влияние режима по скорости проявляется прежде всего в интенсивности изменения $k_c(M)$ на малых масштабах M .

Индекс резкости S_c характеризует ширину переходной зоны на кривых $E(d)$: чем ближе S_c к 1, тем селективнее разделение. По данным рис. 5 видно, что влияние масштаба M на S_c носит устойчивый характер. При увеличении M индекс S_c , как правило, возрастает, что соответствует ухудшению резкости разделения (расширению переходной области). Одновременно повышение скорости входного газа приводит к снижению S_c и, следовательно, к росту селективности, что согласуется с более резким видом S-образных зависимостей при $W \geq 10$ м/с (см. рис. 5).

В численном выражении для $W = 1$ м/с S_c принимает наибольшие значения 1,41–1,70, указывая на наименее селективный режим. При $W = 5$ м/с значения S_c в целом выше при крупных масштабах и достигают порядка 1,1–1,6, причем наиболее заметное изменение связано с переходом от малых типоразмеров к средним. Для $W = 10$ и 15 м/с S_c остается ближе к 1 (около 1,03–1,36 и $\approx 1,05$ –1,19 соответственно).

В исследованном диапазоне режимов гидравлическое сопротивление мультивихревого классификатора, рассчитанное как разность массово-усредненных полных давлений между входом и выходом расчетной области, остается умеренным и при $W = 15$ м/с не превышает 550 Па.

Практическая проекция полученных результатов на агропромышленный комплекс и пищевые технологии заключается в том, что мультивихревой классификатор может рассматриваться как настраиваемый узел сухой воздушной классификации, совмещающий функции фракционирования и частичного обеспыливания без изменения влажности материала. Установленные

Рис. 4. Зависимость параметра кривизны k_c от масштаба M при различных скоростях входного газа W , м/с: 1 — 1; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 15

Fig. 4. Dependence of the curvature parameter k_c on the scale factor M at different inlet gas velocities W , m/s: 1 — 1; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 15

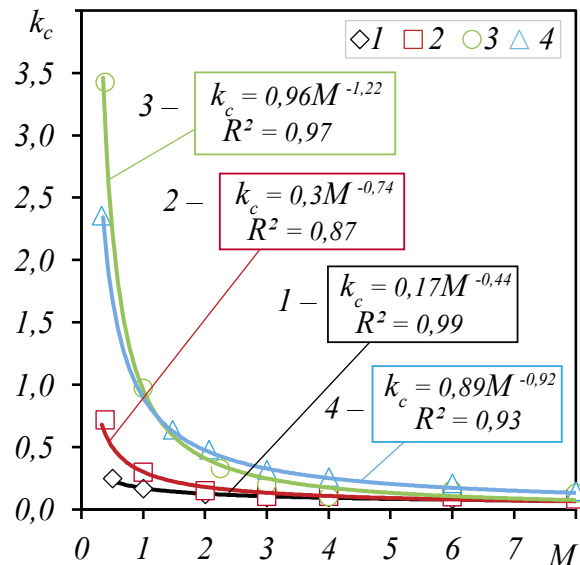
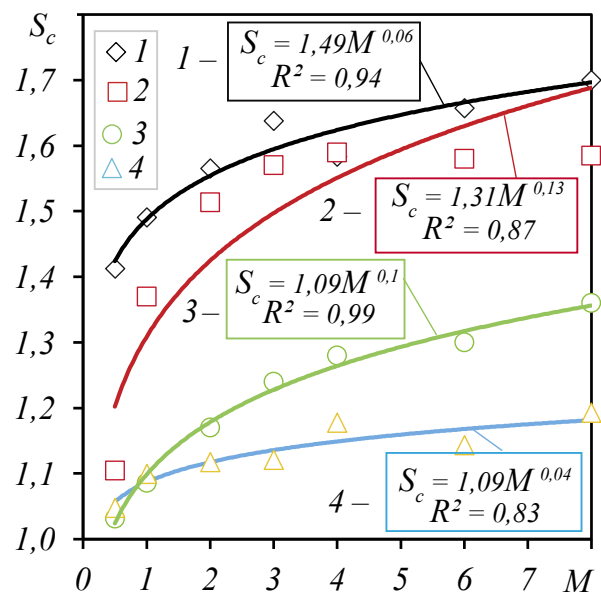


Рис. 5. Зависимость индекса резкости разделения S_c от масштаба M при различных скоростях входного газа W , м/с: 1 — 1; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 15

Fig. 5. Dependence of the sharpness index S_c on the scale factor M at different inlet gas velocities W , m/s: 1 — 1; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 15



зависимости $E(d)$, d_{50c} , k_c и S_c формируют инженерную основу для выбора типоразмера M и режима скорости W под требуемую крупность целевой фракции. При этом результаты работы показывают, что с точки зрения обеспечения высокой селективности разделения аппарат целесообразно рассматривать в области рабочих скоростей входного газа не ниже 10 м. с, поскольку именно в этих режимах формируется более выраженный S-образный переход и достигается более высокая резкость разделения.

В производственных условиях аппарат целесообразно рассматривать для линий кормопроизводства (подготовка премиксов, носителей и микрокомпонентов перед дозированием и смешением), для линий сухих пищевых ингредиентов (кондиционирование мукомольных, крахмалосодержащих и растительных белковых порошков, а также функциональных добавок), а также для процессов обращения с порошковыми и микрокапсулированными агрохимическими компонентами, где требуется ограничить унос и пылевую нагрузку на аспирацию. Важным практическим обстоятельством является то, что расчетные потери давления остаются умеренными (не более 550 Па при $W = 15$ м. с), что упрощает интеграцию аппарата в типовые контуры пневмотранспорта без существенного увеличения энергозатрат на перемещение воздуха.

Выводы/Conclusion

На основе проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Численное моделирование показало, что для частиц плотностью около 1000 кг/м³ в исследованной области размеров 1–100 мкм мультивихревой классификатор формирует устойчивые S-образные зависимости фракционной эффективности $E(d)$, что подтверждает работоспособность аппарата в условиях, релевантных сухому

фракционированию органических, пищевых и кормовых порошков.

2. При увеличении геометрического масштаба аппарата M диаметр граничного зерна d_{50c} систематически возрастает при всех значениях W , что соответствует смещению разделительного размера в область более крупных частиц. Для $W = 1–5$ м/с рост d_{50c} при переходе от $M = 0,5$ к $M = 8$ составляет около 2,3 раза, тогда как для $W = 10–15$ м/с составляет 4,3–4,5 раза.

3. Параметр кривизны k_c уменьшается с ростом масштаба M , что соответствует расширению переходной области кривых $E(d)$ и снижению селективности разделения.

4. Индекс резкости разделения S_c при увеличении масштаба M , как правило, возрастает, что подтверждает ухудшение селективности при переходе к более крупным типоразмерам. Наименее селективный режим соответствует $W = 1$ м. с, где S_c находится в диапазоне 1,41–1,70. При $W = 5$ м/с значения S_c составляют 1,10–1,59. Наиболее благоприятные по резкости режимы получены при $W = 10$ и 15 м. с, где S_c сохраняется ближе к 1 и составляет 1,03–1,36 и 1,05–1,19 соответственно.

5. В исследованном диапазоне режимов гидравлическое сопротивление мультивихревого классификатора остается умеренным, которое составляет не более 550 Па при скоростях газа W до 15 м. с.

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 в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение ИРПИШ от 19.12.2025 г.

FUNDING

The work was carried out within the framework of a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to support programs for the development of advanced engineering schools of national significance «Turbo Advanced Engineering School», agreement 1 Russian advanced engineering school dated 12/19/2025.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Suhag R., Kellil A., Razem M. Factors Influencing Food Powder Flowability. *Powders*. 2024; 3(1): 65–76. <https://doi.org/10.3390/powders3010006>
- Nunnenkamp D., Bierschenk E., Westendarp H., Wolf P. Particle Size Distribution of Organic Complete Diets for Laying Hens during Feed Offering. *Agriculture*. 2022; 12(2): 272. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020272>
- Lie-Piang A., Yang J., Schutyser M.A.I., Nikiforidis C.V., Boom R.M. Mild Fractionation for More Sustainable Food Ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2023; 14: 473–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-024052>
- Holt D., Aldrich C.G. Evaluation of Mixing Efficacy of Carriers for Supplemental Nutrient Premixes in Animal Feed. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 2021; 7(10): 17. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.8155>
- Matuszek D.B., Bierzynski K., Jedrysiak A., Kraszewska A. Homogeneity of the selected food mixes. *Czech Journal of Food Sciences*. 2021; 39(3): 197–207. <https://doi.org/10.17221/225/2020-CJFS>
- Zhang F., O'Mahony J.A., Miao S., Cronin K. An Experimental Study on the Dilute Phase Pneumatic Conveying of Fat-Filled Milk Powders: Particle Breakage. *Powders*. 2023; 2(1): 124–134. <https://doi.org/10.3390/powders2010009>
- Shah D.S., Moravkar K.K., Jha D.K., Lonkar V., Amin P.D., Chalikwar S.S. A concise summary of powder processing methodologies for flow enhancement. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16498. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16498>
- Hazlett R., Schmidmeier C., O'Mahony J.A. Approaches for improving the flowability of high-protein dairy powders post spray drying — A review. *Powder Technology*. 2021; 388: 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.03.021>
- Perelli S., D'Angelo D., Pellegrini L. Analysis of Dust Fires and Explosions in the Food Processing Industry. *Chemical Engineering Transactions*. 2023; 104: 169–174. <https://doi.org/10.3303/CET23104029>
- Jezsó K., Peciar P. Influence of the Selected Sieving Parameters on the Sieving Efficiency of Material MCC Avicel PH102. *Strojnický časopis — Journal of Mechanical Engineering*. 2022; 72(1): 77–88. <https://doi.org/10.2478/scjme-2022-0008>

REFERENCES

- Suhag R., Kellil A., Razem M. Factors Influencing Food Powder Flowability. *Powders*. 2024; 3(1): 65–76. <https://doi.org/10.3390/powders3010006>
- Nunnenkamp D., Bierschenk E., Westendarp H., Wolf P. Particle Size Distribution of Organic Complete Diets for Laying Hens during Feed Offering. *Agriculture*. 2022; 12(2): 272. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020272>
- Lie-Piang A., Yang J., Schutyser M.A.I., Nikiforidis C.V., Boom R.M. Mild Fractionation for More Sustainable Food Ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2023; 14: 473–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-024052>
- Holt D., Aldrich C.G. Evaluation of Mixing Efficacy of Carriers for Supplemental Nutrient Premixes in Animal Feed. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 2021; 7(10): 17. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.8155>
- Matuszek D.B., Bierzynski K., Jedrysiak A., Kraszewska A. Homogeneity of the selected food mixes. *Czech Journal of Food Sciences*. 2021; 39(3): 197–207. <https://doi.org/10.17221/225/2020-CJFS>
- Zhang F., O'Mahony J.A., Miao S., Cronin K. An Experimental Study on the Dilute Phase Pneumatic Conveying of Fat-Filled Milk Powders: Particle Breakage. *Powders*. 2023; 2(1): 124–134. <https://doi.org/10.3390/powders2010009>
- Shah D.S., Moravkar K.K., Jha D.K., Lonkar V., Amin P.D., Chalikwar S.S. A concise summary of powder processing methodologies for flow enhancement. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16498. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16498>
- Hazlett R., Schmidmeier C., O'Mahony J.A. Approaches for improving the flowability of high-protein dairy powders post spray drying — A review. *Powder Technology*. 2021; 388: 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.03.021>
- Perelli S., D'Angelo D., Pellegrini L. Analysis of Dust Fires and Explosions in the Food Processing Industry. *Chemical Engineering Transactions*. 2023; 104: 169–174. <https://doi.org/10.3303/CET23104029>
- Jezsó K., Peciar P. Influence of the Selected Sieving Parameters on the Sieving Efficiency of Material MCC Avicel PH102. *Strojnický časopis — Journal of Mechanical Engineering*. 2022; 72(1): 77–88. <https://doi.org/10.2478/scjme-2022-0008>

11. Pulivarthy M.K. *et al.* Dry fractionation process operations in the production of protein concentrates: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023; 22(6): 4670–4697. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13237>
12. Meenakshi Sundaram G.S., Das D., Emiola-Sadiq T., Sajeeb Khan A., Zhang L., Meda V. Developments in the Dry Fractionation of Plant Components: A Review. *Separations*. 2024; 11(12): 332. <https://doi.org/10.3390/separations11120332>
13. Cammerata A., Sestili F., Laddomada B., Aureli G. Bran-Enriched Milled Durum Wheat Fractions Obtained Using Innovative Micronization and Air-Classification Pilot Plants. *Foods*. 2021; 10(8): 1796. <https://doi.org/10.3390/foods10081796>
14. Cammerata A., Marabottini R., Allevato E., Aureli G., Stazi S.R. Content of minerals and deoxynivalenol in the air-classified fractions of durum wheat. *Cereal Chemistry*. 2021; 98(5): 1101–1111. <https://doi.org/10.1002/cche.10458>
15. Wetterau K., Wilms P., Boom R., van der Linden E., Venema P., Schutyser M. Air classification of starch-rich pulse flours: A generic method to predict starch-protein separation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2026; 108: 104407. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104407>
16. Guo M. *et al.* An overview of novel geometrical modifications and optimizations of gas-particle cyclone separators. *Separation and Purification Technology*. 2024; 329: 125136. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125136>
17. Kaas A., Mütze T., Peuker U.A. Review on Zigzag Air Classifier. *Processes*. 2022; 10(4): 764. <https://doi.org/10.3390/pr10040764>
18. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmich A., Kalinichenko R., Hryshchenko V. Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel. *Journal of Central European Agriculture*. 2023; 24(1): 225–235. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3732>
19. Исмаилова Х.Р. Моделирование процесса пневмосепарации семян подсолнечника в воздушном потоке. *Аграрная наука*. 2018; (11–12): 87–90. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2018-320-11-87-90>
20. Sun Z., Liang L., Liu C., Zhu Y., Zhang L., Yang G. CFD simulation and performance optimization of a new horizontal turbo air classifier. *Advanced Powder Technology*. 2021; 32(4): 977–986. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.01.041>
21. Yu Y., Li X., Zhang Y., Jiao Z., Liu J. The influence of air inlet layout on the inner flow field for a vertical turbo air classifier. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2023; 59(6): 175859. <https://doi.org/10.37190/ppmp/175859>
22. Mou X., Jia F., Fang Y., Chen C. CFD-Based Structural Optimization of Rotor Cage for High-Efficiency Rotor Classifier. *Processes*. 2021; 9(7): 1148. <https://doi.org/10.3390/pr9071148>
23. Jia F., Mou X., Fang Y., Chen C. A New Rotor-Type Dynamic Classifier: Structural Optimization and Industrial Applications. *Processes*. 2021; 9(6): 1033. <https://doi.org/10.3390/pr9061033>
24. Eckhoff R.K., Li G. Industrial Dust Explosions. A Brief Review. *Applied Sciences*. 2021; 11(4): 1669. <https://doi.org/10.3390/app11041669>
25. Sulaiman S.Z., Mohd Mokhtar K., Wan Sulaiman W.Z., Semawi N.H. Flame propagation and explosion characteristics of food-based dust as a function of dust concentration. *Process Safety Progress*. 2024; 43(3): 579–586. <https://doi.org/10.1002/prs.12591>
26. Pahasup-anan T. *et al.* Dust Explosion Risk Assessment of Extruded Food Production Process by Fault Tree Analysis. *ACS Chemical Health & Safety*. 2022; 29(1): 91–97. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.1c00036>
27. Прец М.А., Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Мугинов А.М. Численное исследование влияния геометрических параметров мультивихревого классификатора на эффективность фракционирования частиц. *Вестник Технологического университета*. 2025; 28(4): 63–68. https://doi.org/10.55421/3034-4689_2025_28_4_63
28. Зинуров В.Э., Биккулов Р.Я., Дмитриева О.С., Мадышев И.Н., Абдуллина А.А. экспериментальное определение гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора. *Ползуновский вестник*. 2023; (1): 191–199. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.024>
29. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*. 1994; 32(8): 1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
30. Gosman A.D., Ioannides E. Aspects of Computer Simulation of Liquid-Fueled Combustors. *Journal of Energy*. 1983; 7(6): 482–490. <https://doi.org/10.2514/3.62687>
11. Pulivarthy M.K. *et al.* Dry fractionation process operations in the production of protein concentrates: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023; 22(6): 4670–4697. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13237>
12. Meenakshi Sundaram G.S., Das D., Emiola-Sadiq T., Sajeeb Khan A., Zhang L., Meda V. Developments in the Dry Fractionation of Plant Components: A Review. *Separations*. 2024; 11(12): 332. <https://doi.org/10.3390/separations11120332>
13. Cammerata A., Sestili F., Laddomada B., Aureli G. Bran-Enriched Milled Durum Wheat Fractions Obtained Using Innovative Micronization and Air-Classification Pilot Plants. *Foods*. 2021; 10(8): 1796. <https://doi.org/10.3390/foods10081796>
14. Cammerata A., Marabottini R., Allevato E., Aureli G., Stazi S.R. Content of minerals and deoxynivalenol in the air-classified fractions of durum wheat. *Cereal Chemistry*. 2021; 98(5): 1101–1111. <https://doi.org/10.1002/cche.10458>
15. Wetterau K., Wilms P., Boom R., van der Linden E., Venema P., Schutyser M. Air classification of starch-rich pulse flours: A generic method to predict starch-protein separation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2026; 108: 104407. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104407>
16. Guo M. *et al.* An overview of novel geometrical modifications and optimizations of gas-particle cyclone separators. *Separation and Purification Technology*. 2024; 329: 125136. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125136>
17. Kaas A., Mütze T., Peuker U.A. Review on Zigzag Air Classifier. *Processes*. 2022; 10(4): 764. <https://doi.org/10.3390/pr10040764>
18. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmich A., Kalinichenko R., Hryshchenko V. Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel. *Journal of Central European Agriculture*. 2023; 24(1): 225–235. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3732>
19. Ismailova H.R. Modeling of air separation of sunflower seeds in the air stream. *Agrarian science*. 2018; (11–12): 87–90 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2018-320-11-87-90>
20. Sun Z., Liang L., Liu C., Zhu Y., Zhang L., Yang G. CFD simulation and performance optimization of a new horizontal turbo air classifier. *Advanced Powder Technology*. 2021; 32(4): 977–986. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.01.041>
21. Yu Y., Li X., Zhang Y., Jiao Z., Liu J. The influence of air inlet layout on the inner flow field for a vertical turbo air classifier. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2023; 59(6): 175859. <https://doi.org/10.37190/ppmp/175859>
22. Mou X., Jia F., Fang Y., Chen C. CFD-Based Structural Optimization of Rotor Cage for High-Efficiency Rotor Classifier. *Processes*. 2021; 9(7): 1148. <https://doi.org/10.3390/pr9071148>
23. Jia F., Mou X., Fang Y., Chen C. A New Rotor-Type Dynamic Classifier: Structural Optimization and Industrial Applications. *Processes*. 2021; 9(6): 1033. <https://doi.org/10.3390/pr9061033>
24. Eckhoff R.K., Li G. Industrial Dust Explosions. A Brief Review. *Applied Sciences*. 2021; 11(4): 1669. <https://doi.org/10.3390/app11041669>
25. Sulaiman S.Z., Mohd Mokhtar K., Wan Sulaiman W.Z., Semawi N.H. Flame propagation and explosion characteristics of food-based dust as a function of dust concentration. *Process Safety Progress*. 2024; 43(3): 579–586. <https://doi.org/10.1002/prs.12591>
26. Pahasup-anan T. *et al.* Dust Explosion Risk Assessment of Extruded Food Production Process by Fault Tree Analysis. *ACS Chemical Health & Safety*. 2022; 29(1): 91–97. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.1c00036>
27. Prets M.A., Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Muginov A.M. Numerical Study of the Influence of Geometric Parameters of a Multi-Vortex Classifier on Particle Fractionation Efficiency. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2025; 59(4): 1033–1038. <https://doi.org/10.1134/S0040579524601420>
28. Zinurov V.E., Bikkulov R.Ya., Dmitrieva O.S., Madyshev I.N., Abdullina A.A. Experimental Determination of Hydraulic Resistance of a Multi-Vortex Separator. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2024; 58(3): 832–837. <https://doi.org/10.1134/S0040579524601420>
29. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*. 1994; 32(8): 1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
30. Gosman A.D., Ioannides E. Aspects of Computer Simulation of Liquid-Fueled Combustors. *Journal of Energy*. 1983; 7(6): 482–490. <https://doi.org/10.2514/3.62687>

ОБ АВТОРАХ

Мария Арнольдовна Прец

аспирант

precmari@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-4434-3906>**Вадим Эдуардович Зинуров**

кандидат технических наук,

заведующий кафедрой

vadd_93@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

Казанский государственный энергетический университет,
ул. Красносельская, 51, г. Казань, 420066, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Mariia Arnoldovna Prets

Postgraduate student

precmari@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-4434-3906>**Vadim Eduardovich Zinurov**

Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering),

Head of the Department

vadd_93@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya st., Kazan, 420066, Russia

А. Н. Кохичко

Мурманский арктический
университет, Мурманск, Россия

✉ andrey_kokhichko@mail.ru

Поступила в редакцию: 20.04.2026

Одобрена после рецензирования: 17.07.2026

Принята к публикации: 01.08.2026

© Кохичко А.Н.

Research article

 creative commons
Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-168-174

Andrey N. Kokhichko

Murmansk Arctic University,
Murmansk, Russia

✉ andrey_kokhichko@mail.ru

Received by the editorial office: 20.04.2026

Accepted in revised: 17.07.2026

Accepted for publication: 01.08.2026

© Kokhichko A.N.

Формирование компетенций распределенной обработки данных и машинного обучения для агропромышленных информационных сетей у обучающихся аграрных направлений подготовки: методическая система и результаты экспериментальной апробации

РЕЗЮМЕ

Разработана и экспериментально апробирована методическая система формирования компетенций распределенной обработки данных и машинного обучения для агропромышленных информационных сетей у обучающихся аграрных направлений подготовки. Система включает пять компонентов: целевой (четыре блока компетенций), содержательный (курс объемом 108 академических часов из четырех модулей), процессуально-технологический (лабораторный стенд и 34 практических задания на сквозном наборе тепличной телеметрии), диагностический (критерии оценивания, единая трехуровневая шкала, тест, карты оценки практических работ и защиты проекта) и ресурсный. Планируемый результат сформулирован операционально: обучающийся самостоятельно разворачивает цепочку «датчик — брокер сообщений — сервер — база временных рядов — модель — граничный узел» и объясняет полученный результат в агрономических терминах. Исследование выполнено на базе Мурманского арктического университета в течение 2023/24 и 2024/25 учебных годов; в педагогическом эксперименте участвовали 132 обучающихся бакалавриата — экспериментальная группа ($n = 68$) и контрольная группа ($n = 64$), сопоставимые по исходным образовательным характеристикам. Диагностика проводилась по когнитивному, инструментальному, аналитическому и интегративному блокам при единых границах уровней: низкий — 0–39 баллов, базовый — 40–69, продвинутый — 70–100. Интегральный показатель в экспериментальной группе увеличился с 38,4 до 72,8 балла ($\Delta = +89,6\%$), в контрольной — с 37,9 до 52,1 балла ($\Delta = +37,5\%$); межгрупповые различия статистически значимы ($p < 0,001$), величина эффекта d Коэна составила 1,24. Доля обучающихся, достигших продвинутого уровня, в экспериментальной группе составила 42,6% против 14,1% в контрольной. Полученные результаты подтверждают педагогическую результативность модульной методической системы, ориентированной на переход от теоретического понимания распределённых архитектур к развёртыванию прикладных конвейеров обработки аграрной телеметрии и моделей машинного обучения.

Ключевые слова: распределенная обработка данных, серверная инфраструктура, машинное обучение, информационные сети агропромышленного комплекса, граничные вычисления, аграрное образование, методическая система, критерии оценивания, уровни сформированности компетенций, педагогический эксперимент

Для цитирования: Кохичко А.Н. Формирование компетенций распределенной обработки данных и машинного обучения для агропромышленных информационных сетей у обучающихся аграрных направлений подготовки: методическая система и результаты экспериментальной апробации. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 168–174.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-168-174>

Development of distributed data processing and machine learning competencies for agro-industrial information networks in students of agricultural study programmes: methodological system and experimental validation

ABSTRACT

A methodological system for developing distributed data processing and machine learning competencies for agro-industrial information networks among students of agricultural study programmes has been designed and experimentally validated. The system comprises five components: a target component (four competency blocks), a content component (a 108-hour course of four modules), a procedural and technological component (a laboratory workbench and 34 practical assignments based on a single greenhouse telemetry dataset), a diagnostic component (assessment criteria, a common three-level scale, a test, and scoring rubrics for practical work and project defence), and a resource component. The intended outcome is formulated operationally: a student independently deploys the chain “sensor — message broker — server — time-series database — model — edge node” and interprets the result in agronomic terms. The study was conducted at Murmansk Arctic University during the 2023/24 and 2024/25 academic years and involved 132 bachelor students assigned to an experimental group ($n = 68$) and a control group ($n = 64$), comparable in their initial educational characteristics. Competency formation was assessed across cognitive, instrumental, analytical, and integrative blocks with common level boundaries: low — 0–39 points, basic — 40–69, advanced — 70–100. The integral competency index in the experimental group increased from 38.4 to 72.8 points ($\Delta = +89.6\%$), whereas in the control group it rose from 37.9 to 52.1 points ($\Delta = +37.5\%$); the differences were statistically significant ($p < 0.001$), with Cohen's $d = 1.24$. The share of students reaching the advanced level amounted to 42.6% in the experimental group compared with 14.1% in the control group. The results confirm the pedagogical effectiveness of the modular methodological system aimed at moving from theoretical understanding of distributed architectures to the deployment of applied pipelines for processing agricultural telemetry and machine learning models.

Key words: distributed data processing, server infrastructure, machine learning, agro-industrial information networks, edge computing, agricultural education, methodological system, assessment criteria, levels of competency formation, pedagogical experiment

For citation: Kokhichko A.N. Development of distributed data processing and machine learning competencies for agro-industrial information networks in students of agricultural study programmes: methodological system and experimental validation. *Agrarian science*. 2026; 409(08): 168–174 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-168-174>

Введение/Introduction

Объем данных, формируемых в современном сельскохозяйственном производстве, устойчиво превышает объем данных, вовлекаемых в управленческий оборот. Датчики влажности почвы, локальные метеостанции, телематические системы тракторов и комбайнов, бортовое оборудование уборочной техники передают измерения непрерывно. Регистрируемые величины подлежат приёму, хранению, фильтрации сбойных значений и последующему преобразованию в технологическое решение: назначение полива, внесение подкормки, постановка машины на обслуживание [1, 2]. Наиболее интенсивный прирост потока фиксируется на предприятиях, применяющих недорогие IoT-датчики и средства дистанционного зондирования [3]. Темпы обновления технических средств при этом опережают темпы подготовки специалистов, способных работать с генерируемыми данными.

Инфраструктура обработки данных в агропромышленном производстве организована иерархически. Часть вычислений выполняется непосредственно в месте измерения, на вычислительном модуле, размещённом вблизи датчиков; такой модуль обозначают как граничный, или периферийный, узел. Остальные операции распределяются между сервером предприятия и облачным сегментом, а сама трехуровневая архитектура получила наименование «облако — туман — граница» [6, 7]. Обмен между датчиками и сервером обеспечивает брокер сообщений, реализуемый, как правило, по протоколу MQTT: он принимает короткие сообщения от множества устройств и передаёт их подписчикам [8]. Измерения аккумулируются в базе временных рядов, то есть в хранилище, оптимизированном под записи формата «время — значение». Для удаленных площадок применяются сети LPWAN, обеспечивающие маломощную связь дальнего радиуса действия. Обученные модели машинного обучения все чаще размещают не в облачном сегменте, а на граничном узле, что сокращает время обнаружения отклонений в потоке данных с суток до секунд [9, 10].

Для российского агропромышленного комплекса перечисленные решения не относятся к отдаленной перспективе. В отраслевых изданиях представлены системы сбора данных для точного земледелия [4], применение машинного обучения к производственным массивам [5], многоуровневые платформы мониторинга параметров агроценоза [11], нейросетевая обработка снимков, получаемых с беспилотных летательных аппаратов [12]. Экономические исследования фиксируют ту же закономерность с иной стороны: эффект от внедрения цифровых решений в хозяйствах регистрируется, однако сдерживается дефицитом подготовленных специалистов [13–15].

Проблема, рассматриваемая в настоящей работе, локализована в области профессиональной подготовки. Обследования цифровой активности

сельхозпроизводителей показывают, что приобретение техники и сервисов не сопровождается сопоставимым ростом готовности персонала к их эксплуатации [16, 17]. Исследователи аграрного образования формулируют вывод определеннее: система подготовки кадров отстает от запроса цифрового сельского хозяйства [18–20], тогда как вложения в квалификацию работников прямо отражаются на производственных результатах [21]. Штатные курсы информатики в аграрном вузе ориентированы преимущественно на пользовательские операции: заполнение форм, построение графиков, работу с готовыми приложениями. Представление о том, что современные студенты владеют цифровой компетентностью в силу возрастной принадлежности, эмпирически не подтверждается [23]; формирование такой компетентности требует специально организованной работы как с обучающимися, так и с преподавателями [24]. Не устраняют разрыв и большие языковые модели, потенциал которых активно обсуждается [22]: сгенерированный конфигурационный файл не замещает понимания принципов построения конвейера обработки данных. Разрыв имеет методическую природу, что определяет и средства его преодоления.

Содержание работы определено также региональной спецификой. Эксперимент проводился в Мурманской области Российской Федерации, где растениеводство сосредоточено преимущественно в закрытом грунте: тепличные комплексы функционируют круглогодично при коротком световом дне, высокой стоимости электроэнергии и неустойчивой связи на удаленных площадках. Выбор тепличного комплекса в качестве учебного объекта обусловлен тремя обстоятельствами.

Комплекс формирует непрерывный многопараметрический поток данных: температура, влажность воздуха и субстрата, освещенность, содержание CO₂. Физический смысл каждого параметра доступен студенту аграрного направления без дополнительных пояснений. Наконец, последствия ошибки поддаются прямому наблюдению: нарушение режима микроклимата проявляется на растениях в течение нескольких часов. Тепличная телеметрия использована как сквозной учебный материал курса и, как показано ниже, закономерно отразилась в тематике студенческих проектов.

Научная проблема исследования состоит в том, что в теории и методике профессионального образования отсутствует целостная и диагностически проверяемая методическая система, обеспечивающая переход обучающегося аграрного направления от общего представления о распределенных архитектурах к самостоятельному развертыванию работающего конвейера обработки данных на серверном и граничном уровне.

Цель исследования — разработка методической системы указанного типа и экспериментальная проверка ее педагогической результативности в условиях действующего учебного процесса.

Понятие «методическая система» нередко используется декларативно, поэтому его содержание конкретизируется применительно к настоящей работе.

Система включает пять компонентов, каждый из которых имеет материальное выражение:

1) целевой — четыре блока компетенций (когнитивный, инструментальный, аналитический, интегративный), соотносённые с производственными задачами обслуживания информационных сетей АПК;

2) содержательный — программа курса объемом 108 академических часов из четырёх модулей;

3) процессуально-технологический — лабораторный стенд (сервер, брокер сообщений, база временных рядов, учебный граничный узел) и банк из 34 практических заданий на сквозном наборе тепличных данных;

4) диагностический — критерии оценивания по каждому блоку, единая трёхуровневая шкала, тест из 40 заданий, карты оценки практических работ и защиты проекта (таблица 1);

5) ресурсный — требования к оборудованию, программному обеспечению и квалификации преподавателя.

Планируемый результат сформулирован операционально, что обеспечивает его диагностическую проверяемость: выпускник курса разворачивает без пошаговой инструкции цепочку «датчик → брокер сообщений → сервер → база временных рядов → модель → граничный узел», интерпретирует полученный результат в агрономических терминах и доводит работу до защищаемого проекта. Сформированность указанного умения и составила предмет измерения в эксперименте.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование выполнено как формирующий педагогический эксперимент. Подготовительно-пилотный этап занял 2023/24 учебный год (сентябрь 2023 г. — июнь 2024 г.): на нём отрабатывались задания, стенд и процедуры оценивания. Основной этап пришёлся на 2024/25 учебный год (сентябрь 2024 г. — июнь 2025 г.). Экспериментальной базой служил Мурманский арктический университет. В выборку вошли 132 обучающихся бакалавриата направлений «Агрономия» (35.03.04) и «Экология и природопользование» (05.03.06): 68 человек составили экспериментальную группу (далее — ЭГ), 64 человека — контрольную группу (далее — КГ). Группы сопоставимы по курсу обучения, половому составу и входному среднему баллу по профильным дисциплинам; на констатирующем этапе статистически значимых различий между ними не обнаружено (U Манна-Уитни = 2092,5; $p = 0,78$).

В ЭГ реализован авторский курс «Распределённая обработка данных и машинное обучение в

информационных сетях АПК» объемом 108 академических часов (3 зачетные единицы).

Курс включает четыре модуля.

Первый, теоретико-концептуальный, раскрывает принципы построения распределённых систем: модель 5V, схема «облако — туман — граница», топологии и протоколы сетей АПК (MQTT, LPWAN).

Второй, инструментально-технологический, реализуется в форме лабораторного практикума: Linux-сервер, контейнеры Docker, база временных рядов PostgreSQL/TimescaleDB, брокеры Apache Kafka и MQTT, учебный граничный узел.

Третий, аналитико-прикладной, посвящен потоковой обработке телеметрии, моделям Random Forest, Gradient Boosting и LSTM, а также выводу обученной модели на периферийное устройство.

Четвёртый, проектно-рефлексивный, предусматривает самостоятельный проект на открытых наборах данных (Kaggle, FAOSTAT), рефлексивное портфолио и защиту.

В КГ обучение проводилось по штатной дисциплине «Информационные технологии в профессиональной деятельности», не предусматривающей практики развёртывания серверных и граничных решений. При проектировании курса учитывалось, что в инженерной подготовке результат определяется не технической сложностью стенда, а системой заданий и оценивания, организованной вокруг него [25].

Сформированность компетенций оценивалась по четырём блокам; для каждого блока предварительно определены операциональные признаки выполнения и их балльное выражение, поскольку сопоставление групп без эксплицитных критериев не обладает доказательной силой. Когнитивный блок проверялся критериально-ориентированным тестом из 40 заданий (α Кронбаха = 0,84). Инструментальный — практическим заданием: развёртывание конвейера и обработка 28 000 строк тепличной телеметрии. Аналитический — построением модели детекции аномалий потока и её выводом на граничный узел. Интегративный — защитой итогового проекта перед смешанной комиссией, включавшей преподавателей и приглашённого специалиста-практика.

Критерии, их вес внутри каждого блока и признаки продвинутого уровня приведены в таблице 1.

Границы уровней едины для всех блоков:

- низкий — от 0 до 39 баллов,
- базовый — от 40 до 69,
- продвинутый — от 70 до 100.

Дифференцирующим признаком служит мера самостоятельности обучающегося. Низкий уровень: опознаёт элементы архитектуры, но самостоятельно не воспроизводит ни одного шага. Базовый: выполняет работу по инструкции, при типовом отказе обращается к преподавателю. Продвинутый: проектирует и разворачивает цепочку самостоятельно, локализует и устраняет отказ, интерпретирует результат в терминах производственной задачи.

Таблица 1. Критерии оценивания и уровни сформированности компетенций распределенной обработки данных и машинного обучения

Table 1. Assessment criteria and levels of competency formation in distributed data processing and machine learning

Блок компетенций (форма контроля)	Критерий оценивания	Максимум, баллов	Признак продвинутого уровня (70–100 баллов)
Когнитивный (тест из 40 заданий)	Модель 5V и уровни схемы «облако — туман — граница» — 25; назначение брокера сообщений и протокола MQTT — 25; базы временных рядов и организация хранения телеметрии — 25; условия применения моделей машинного обучения в задачах АПК — 25	100	Верно выбирает архитектуру обработки данных для описанной производственной ситуации и объясняет выбор
Инструментальный (развертывание конвейера, 28 000 строк телеметрии теплицы)	Работоспособность цепочки «брокер → сервер → база временных рядов» — 40; полнота и корректность загрузки данных — 25; корректность конфигурации служб и контейнеров — 20; самостоятельность выполнения — 15	100	Разворачивает конвейер без инструкции и восстанавливает его работу после внесённого преподавателем отказа
Аналитический (модель детекции аномалий и ее вывод на граничный узел)	Обоснованность выбора модели — 20; качество модели (F1 на отложенной выборке) — 30; работоспособность вывода модели на граничном узле — 30; интерпретация результата в агрономических терминах — 20	100	Объясняет, какое отклонение микроклимата стоит за сигналом модели, и предлагает агротехническое действие
Интегративный (защита итогового проекта)	Производственная постановка задачи — 25; техническая реализация — 30; анализ и достоверность результатов — 25; защита и ответы на вопросы — 20	100	Доводит задачу от постановки до работающего решения и аргументированно отвечает на вопросы комиссии
Уровни (едины для всех блоков)	Низкий — опознаёт элементы архитектуры, самостоятельно не воспроизводит ни одного шага; базовый — выполняет работу по инструкции; продвинутый — проектирует, разворачивает и сопровождает цепочку самостоятельно	0–39 / 40–69 / 70–100	Интегральный показатель: $ИП = 0,20 \times K + 0,25 \times И + 0,30 \times A + 0,25 \times П$

Интегральный показатель (ИП) рассчитывался как средневзвешенная оценка четырёх блоков: $ИП = 0,20 \cdot K + 0,25 \cdot И + 0,30 \cdot A + 0,25 \cdot П$, где K, И, A и П — баллы когнитивного, инструментального, аналитического и интегративного (проектного) блоков, приведённые к 100-балльной шкале. Веса получены методом анализа иерархий по результатам попарных сравнений, выполненных 12 экспертами — преподавателями профильных дисциплин и специалистами по эксплуатации агроинформационных систем; отношение согласованности не превышало 0,1. Наибольший вес присвоен аналитическому блоку, в котором проверяется способность довести данные до производственного решения. В таблицах приводятся среднее арифметическое по группе и стандартное отклонение ($M \pm SD$); Δ к входу означает разность средних на итоговом и входном срезах, относительный прирост — отношение этой разности к входному значению.

Расчеты выполнены в среде Python 3.11 (правообладатель — Python Software Foundation, США; лицензия PSF) с использованием свободно распространяемых библиотек pandas 2.1.4, SciPy 1.11.4 и statsmodels 0.14.0 (лицензия BSD). Нормальность распределений проверяли критерием Шапиро—Уилка. При выполнении предпосылок применяли t-критерий Стьюдента, при их нарушении — U-критерий Манна—Уитни; различия уровней распределений оценивали χ^2 -критерием Пирсона. Величину эффекта определяли по d Коэна, доверительные интервалы — бутстрепом на 10 000 повторных выборках.

Приведенный набор процедур позволяет судить не только о статистической значимости различий, но и об их педагогической выраженности, поскольку статистически значимое различие малой величины практического значения не имеет.

Ограничения исследования приводятся до изложения результатов.

Во-первых, выборка носит региональный характер: один университет, одна климатическая зона, два направления подготовки.

Во-вторых, продолжительность отсроченного контроля составила шесть месяцев, что недостаточно для заключения об устойчивости достигнутого уровня.

В-третьих, воспроизведение курса предъявляет ресурсные требования: сервер и граничные узлы, лицензионно чистое программное обеспечение, преподаватель, владеющий администрированием Linux, контейнеризацией и работой с брокером сообщений.

Изложенные ниже выводы правомерны в пределах описанных условий.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Методическая система выстроена как последовательный переход от понимания к действию: обучающийся осваивает принципы построения распределённых архитектур, самостоятельно разворачивает их, строит модель и завершает курс защитой проекта. Структура модулей, объем учебного времени, ведущие формы работы и формы итогового контроля представлены в таблице 2.

В материальном выражении разработка представлена комплектом, пригодным для передачи в другую образовательную организацию: программа курса, 34 лабораторных и аналитических задания на сквозном наборе данных, описание стенда, банк тестовых заданий, карты оценивания (таблица 1) и методические указания для преподавателя. Результативность комплекта охарактеризована ниже.

На констатирующем этапе статистически значимых различий между группами не зафиксировано (все $p > 0,5$), однако исходный уровень практических блоков был низким: 69–70% обучающихся не набирали и 40 баллов, то есть

Таблица 2. Структура методической системы формирования компетенций распределенной обработки данных и машинного обучения у обучающихся аграрных направлений подготовки

Table 2. Structure of the methodological system for developing distributed data processing and machine learning competencies in students of agricultural study programmes

Модуль	Объем, ак. ч	Формируемый блок компетенций	Ведущие методы и формы обучения	Доля активных форм, %	Форма итогового контроля
M1. Теоретико-концептуальный	18	Когнитивный	Проблемная лекция, семинар-дискуссия, кейс-анализ	55	Критериально-ориентированный тест (40 заданий)
M2. Инструментально-технологический	36	Инструментальный	Лабораторный практикум (Linux-сервер, Docker, PostgreSQL/TimescaleDB), стенд Kafka-MQTT	78	Развертывание конвейера обработки телеметрии теплицы (28 000 строк)
M3. Аналитико-прикладной	34	Аналитический	Потоковая обработка телеметрии, модели Random Forest/Gradient Boosting/LSTM, вывод на граничный узел	82	Построение и развёртывание модели детекции аномалий
M4. Проектно-рефлексивный	20	Интегративный	Индивидуальный/групповой проект, рефлексивное портфолио	95	Защита проекта перед смешанной комиссией
Итого	108	Все 4 блока	Репродуктивные, продуктивные и проектные методы	79,3 (средневзв.)	Интегральная экзаменационная оценка

Примечание: Учебный набор данных — 28 000 строк телеметрии тепличного комплекса за апрель—июнь 2024 г.; логи взяты из открытого доступа и обезличены. Выбор тепличных данных обусловлен региональной спецификой: в Мурманской области закрытый грунт составляет основной вид растениеводства, вследствие чего физический смысл каждого измеряемого параметра доступен обучающимся, а решаемая задача соотносится с производственной, а не с учебно-тренировочной. Средневзвешенная доля активных форм работы — 79,3%. Источник: данные эксперимента.

Таблица 3. Результаты итогового контроля сформированности компетенций распределенной обработки данных и машинного обучения в экспериментальной и контрольной группах (после формирующего эксперимента)

Table 3. Results of the final assessment of distributed data processing and machine learning competency formation in the experimental and control groups (after the formative experiment)

Блок компетенций	Группа	M ± SD, балл	Δ к входу, балл	Относительный прирост, %	Критерий	p-value	d Коэна
Когнитивный	ЭГ	74,6 ± 10,2	+32,8	+78,5	t-Стьюдента	< 0,001	1,17
	КГ	61,8 ± 11,7	+20,9	+51,1			
Инструментальный	ЭГ	71,4 ± 12,1	+37,2	+108,8	Манна-Уитни	< 0,001	1,39
	КГ	48,7 ± 13,6	+15,2	+45,4			
Аналитический	ЭГ	71,1 ± 11,9	+35,4	+99,2	Манна-Уитни	< 0,001	1,51
	КГ	49,2 ± 12,8	+13,1	+36,3			
Интегративный	ЭГ	73,9 ± 10,6	+32,0	+76,4	t-Стьюдента	< 0,001	1,02
	КГ	62,1 ± 12,8	+20,8	+50,4			
Интегральный показатель	ЭГ	72,8 ± 8,9	+34,4	+89,6	t-Стьюдента	< 0,001	1,24
	КГ	52,1 ± 9,7	+14,2	+37,5			

Примечание: ЭГ — экспериментальная группа (n = 68), КГ — контрольная группа (n = 64). M ± SD — среднее арифметическое и стандартное отклонение по группе. Δ к входу — разность средних значений на итоговом и входном срезах; относительный прирост рассчитан от входного значения. Интегральный показатель — средневзвешенная оценка четырёх блоков с весами 0,20; 0,25; 0,30 и 0,25 (см. раздел «Материалы и методы»). Значения d Коэна в диапазоне 1,02–1,51 соответствуют большим эффектам (d > 0,8). Источник: данные итогового контроля педагогического эксперимента.

соответствовали низкому уровню. Полученное распределение согласуется с данными исследований цифровой готовности отрасли и аграрного образования [16, 18, 19].

Итоговые результаты диагностики после завершения формирующего этапа приведены в таблице 3.

Различия между группами после формирующего этапа значимы по всем четырём блокам (p < 0,001). Наибольшая дистанция зафиксирована в инструментальном (d = 1,39) и аналитическом (d = 1,51) блоках, то есть в тех видах деятельности, которые требуют самостоятельного развёртывания сервера и граничного узла, пропуска через них потока телеметрии, обучения модели и

интерпретации ее сигнала. В когнитивном блоке прирост зарегистрирован и в контрольной группе, поскольку отдельные теоретические сведения о цифровых технологиях содержатся и в штатной программе. Однако перевод знания в действие без специально организованной практики достигнут лишь единичными обучающимися: по инструментальному блоку разрыв между группами составил 22,7 балла.

Уровневое распределение подтверждает тот же вывод. В ЭГ доля обучающихся продвинутого уровня выросла с 1,5 до 42,6%, в КГ — с 1,6 до 14,1%; различия выходных распределений подтверждены χ^2 -критерием Пирсона ($\chi^2 = 17,84$; df = 2; p < 0,001; V Крамера = 0,367).

Диагностически более значимой показатель: из числа стартовавших с низкого уровня на более высокий перешли 91,7% обучающихся ЭГ и 57,1% КГ. Следовательно, результативность системы не ограничивается группой изначально успешных обучающихся и распространяется на тех, кто приступил к освоению курса с дефицитом практических цифровых навыков.

Проектный блок позволил оценить перенос освоенного на прикладные задачи. Тематика итоговых работ ЭГ распределилась следующим образом: развёртывание граничного узла сбора телеметрии теплиц — 25,0%, конвейер

поточковой обработки данных метеостанций Kafka → TimescaleDB — 19,1%, модель детекции аномалий потока на граничном узле — 16,2%, узловая сеть мониторинга малых водосборов на LPWAN — 13,2%, учебный серверный дашборд агроэкологического мониторинга — 11,8%, прочие темы — 14,7%. Преобладание тепличной тематики закономерно: сквозным учебным материалом курса служили тепличные данные, а закрытый грунт остается основным направлением растениеводства региона, вследствие чего задача воспринимается обучающимися как производственная; технические решения аналогичного назначения для тепличных комплексов описаны в отраслевой литературе [8, 11]. Из 68 защищённых проектов 33,8% рекомендованы к доработке в формате курсовой или выпускной квалификационной работы. Ограниченная связность и автономность узлов в высоких широтах повышали прикладную значимость заданий и, по отзывам обучающихся, поддерживали устойчивый интерес к курсу.

Сходная логика построения подготовки, от диагностики готовности к проектной защите, прослеживается и в других работах по подготовке аграрных кадров [26].

Выводы/Conclusion

Разработанная методическая система обеспечила статистически значимый и педагогически выраженный результат. Интегральный показатель в ЭГ вырос с 38,4 до 72,8 балла (прирост 89,6%),

в КГ — с 37,9 до 52,1 балла (прирост 37,5%); величина эффекта d Коэна составила 1,24. Наибольший прирост зафиксирован в инструментальном и аналитическом блоках, то есть в зоне перехода от использования готовых цифровых сервисов к самостоятельному развёртыванию и сопровождению обработки данных в распределённой агроинформационной сети.

Практическая значимость полученного результата состоит в следующем. Доля обучающихся продвинутого уровня в ЭГ выросла с 1,5 до 42,6%, а из числа стартовавших с низкого уровня 91,7% перешли на базовый или продвинутый (в КГ — 57,1%).

Отрасль нуждается не только в единичных высококвалифицированных разработчиках, но и в массовом выпускнике, способном запустить потоковую обработку данных, вывести модель на граничный узел и обеспечить их дальнейшую эксплуатацию.

Система воспроизводима: она передается как комплект, включающий программу, задания, описание стенда, критерии оценивания и методические указания, и не привязана к конкретной образовательной организации; набор данных при этом целесообразно подбирать в соответствии с региональной специализацией.

Дальнейшая работа предполагает отсроченный контроль устойчивости результатов, расширение выборки за счёт других направлений подготовки и сопоставление форматов реализации курса: очного, смешанного и сетевого.

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mansoor S., Iqbal S., Popescu S.M., Kim S.L., Chung Y.S., Baek J.-H. Integration of smart sensors and IoT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1587869. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
2. Soussi A., Zero E., Sacile R., Trincherio D., Fossa M. Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*. 2024; 24(8): 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
3. Miller T., Mikiciuk G., Durlik I., Mikiciuk M., Łobodzińska A., Śnieg M. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now—A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*. 2025; 25(12): 3583. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
4. Оськин С.П., Кузнецов А.В., Конева Н.Е. Функциональное моделирование и параметрическая оценка компонентов IoT-системы сбора данных для задач точного земледелия. *Аграрная наука*. 2026; (4): 137–143. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-137-143>
5. Галкин А.И. Применение методов машинного обучения и анализа больших данных в точном земледелии. *Аграрная наука*. 2025; (5): 171–174. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-171-174>
6. Kalyani Y., Collier R. A Systematic Survey on the Role of Cloud, Fog, and Edge Computing Combination in Smart Agriculture. *Sensors*. 2021; 21(17): 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>
7. Yu P., Teng F., Zhu W., Shen C., Chen Z., Song J. Cloud-edge-device collaborative computing in smart agriculture: architectures, applications, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1668545. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1668545>
8. Максимов А.Ф., Кутырев Г.А. Проектирование архитектуры распределенной IoT-системы мониторинга параметров микроклимата тепличных комплексов на основе протокола MQTT и граничных вычислений. *Аграрная наука*. 2026; (4): 144–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-144-150>
9. Sathupadi K., Achar S., Bhaskaran S.V., Faruqi N., Abdullah-Al-Wadud M., Uddin J. Edge-Cloud Synergy for AI-Enhanced Sensor Network Data: A Real-Time Predictive Maintenance Framework. *Sensors*. 2024; 24(24): 7918. <https://doi.org/10.3390/s24247918>
10. Pintus M., Colucci F., Maggio F. Emerging Developments in Real-Time Edge AIoT for Agricultural Image Classification. *IoT*. 2025; 6(1): 13. <https://doi.org/10.3390/iot6010013>

REFERENCES

1. Mansoor S., Iqbal S., Popescu S.M., Kim S.L., Chung Y.S., Baek J.-H. Integration of smart sensors and IoT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1587869. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
2. Soussi A., Zero E., Sacile R., Trincherio D., Fossa M. Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*. 2024; 24(8): 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
3. Miller T., Mikiciuk G., Durlik I., Mikiciuk M., Łobodzińska A., Śnieg M. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now—A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*. 2025; 25(12): 3583. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
4. Oskin S.P., Kuznetsov A.V., Koneva N.E. Functional modeling and parametric evaluation of components of an IoT data collection system for precision agriculture. *Agrarian science*. 2026; (4): 137–143 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-137-143>
5. Galkin A.I. Application of machine learning methods and big data analysis in precision agriculture. *Agrarian science*. 2025; (5): 171–174 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-171-174>
6. Kalyani Y., Collier R. A Systematic Survey on the Role of Cloud, Fog, and Edge Computing Combination in Smart Agriculture. *Sensors*. 2021; 21(17): 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>
7. Yu P., Teng F., Zhu W., Shen C., Chen Z., Song J. Cloud-edge-device collaborative computing in smart agriculture: architectures, applications, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1668545. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1668545>
8. Maksimov A.F., Kutuyev G.A. Design of a distributed IoT system architecture for greenhouse microclimate monitoring based on MQTT protocol and edge computing. *Agrarian science*. 2026; (4): 144–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-144-150>
9. Sathupadi K., Achar S., Bhaskaran S.V., Faruqi N., Abdullah-Al-Wadud M., Uddin J. Edge-Cloud Synergy for AI-Enhanced Sensor Network Data: A Real-Time Predictive Maintenance Framework. *Sensors*. 2024; 24(24): 7918. <https://doi.org/10.3390/s24247918>
10. Pintus M., Colucci F., Maggio F. Emerging Developments in Real-Time Edge AIoT for Agricultural Image Classification. *IoT*. 2025; 6(1): 13. <https://doi.org/10.3390/iot6010013>

11. 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; (5): 153–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159>
12. Фёдоров Д.Е., Быков С.Н. Мониторинг посевов гороха с нейросетевой обработкой изображений полученных с использованием БПЛА. *Аграрная наука*. 2025; (8): 122–128. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-122-128>
13. Чухвахин П.И. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: экономическая эффективность внедрения информационных технологий. *Аграрная наука*. 2025; (8): 155–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159>
14. Еремин С.Г. Цифровые технологии и большие данные в трансформации сельского хозяйства: возможности и проблемы. *Аграрная наука*. 2025; (3): 160–164. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-160-164>
15. Плахин А.Е., Огородникова Е.С., Ростовцев К.В. Проблемы становления цифровой модели в сельском хозяйстве. *Аграрная наука*. 2024; (8): 188–193. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-188-193>
16. Корнилова Л.М., Иванов П.А. Цифровая трансформация и готовность к ней агропромышленного комплекса Чувашской Республики. *Аграрная наука*. 2022; (11): 160–164. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-160-164>
17. Афанасьева О.Г., Макушев А.Е., Толстова М.Л., Степанов А.В. Исследование цифровой активности региональных аграриев России. *Аграрная наука*. 2022; (11): 165–173. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-165-173>
18. Буреаева Е.В. Подготовка кадров для цифровой экономики сельского хозяйства: проблемы и перспективы. *Вестник аграрной науки*. 2021; (3): 112–118. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.3.112>
19. Буреаева Е.В. Система подготовки кадров для цифрового сельского хозяйства: основные перспективы и ограничения. *Вестник аграрной науки*. 2023; (4): 132–139. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.4.132>
20. Савкин В.И. Проблемы формирования профессиональных компетенций при подготовке кадров для производства органической продукции. *Вестник аграрной науки*. 2023; (6): 155–159. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.6.155>
21. Шмелева А.В. Анализ взаимосвязи между уровнем квалификации работников на производстве и показателями прибыли: экономическое обоснование инвестиций в обучение персонала. *Аграрная наука*. 2024; (11): 30–33. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-30-33>
22. Назаров Д.М., Бегичева С.В., Копнин А.А. Большие языковые модели (LLM): новый этап цифровой трансформации агропромышленного комплекса России. *Аграрный вестник Урала*. 2025; 25(7): 1129–1142. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-07-1129-1142>
23. Петрунева Р.М., Васильева В.Д., Петрунева Ю.В. Цифровые студенты: мифы и реальность. *Высшее образование в России*. 2019; 28(11): 47–55. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-11-47-55>
24. Mezentseva D.A., Dzhavakh E.S., Eliseeva O.V., Bagautdinova A.Sh. On the Question of Pedagogical Digital Competence. *Higher Education in Russia*. 2020; 29(11): 88–97. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-11-88-97>
25. Баранов В.Н., Безруких А.И., Константинов И.Л., Рудницкий Э.А., Солопеко Н.С., Байковский Ю.В. Использование цифрового двойника для обучения студентов металлургического профиля. *Высшее образование в России*. 2022; 31(2): 135–148. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2022-31-2-135-148>
26. Гуров С.Ю., Гурова Т.Ю., Насалевич Т.В., Тарасенко Т.В., Юрченко А.В. Готовность будущих специалистов аграрного профиля к формированию языковой культуры в профессиональной деятельности. *Аграрная наука*. 2025; (8): 150–154. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-150-154>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрей Николаевич Кохичко

доктор педагогических наук, заведующий кафедрой педагогики

andrey_kokhichko@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7779-5778>

Мурманский арктический университет,
ул. Капитана Егорова, 15, Мурманск, 183038, Россия

11. Gibadullin R.R., Shakurova Z.M. A multi-layer big data platform for intelligent monitoring and diagnostics of agroecosystem parameters based on hybrid machine learning methods. *Agrarian science*. 2026; (5): 153–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159>

12. Fedorov D.E., Bykov S.N. Monitoring of pea crops with neural network processing of images obtained using UAVs. *Agrarian science*. 2025; (8): 122–128 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-122-128>

13. Chuvakhin P.I. Digital transformation of the agro-industrial complex: economic efficiency of introducing information technologies. *Agrarian science*. 2025; (8): 155–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159>

14. Eremis S.G. Digital technologies and big data in the transformation of agriculture: opportunities and challenges. *Agrarian science*. 2025; (3): 160–164 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-160-164>

15. Plakhin A.E., Ogorodnikova E.S., Rostovtsev K.V. Problems of a digital model formation in agriculture. *Agrarian science*. 2024; (8): 188–193 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-188-193>

16. Kornilova L.M., Ivanov P.A. Digital transformation and readiness for it of the agro-industrial complex of the Chuvash Republic. *Agrarian science*. 2022; (11): 160–164 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-160-164>

17. Afanaseva O.G., Makushev A.E., Tolstova M.L., Stepanov A.V. Research of Russian regional farmers' digital activity. *Agrarian science*. 2022; (11): 165–173 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-165-173>

18. Buraeva E.V. Training of personnel for the digital agricultural economy: problems and prospects. *Bulletin of Agrarian Science*. 2021; (3): 112–118 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.3.112>

19. Buraeva E.V. Personnel training system for digital agricultural economy: main perspectives and limitations. *Bulletin of Agrarian Science*. 2023; (4): 132–139 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.4.132>

20. Savkin V.I. Problems of professional competencies formation when training personnel for the production of organic products. *Bulletin of Agrarian Science*. 2023; (6): 155–159 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.6.155>

21. Shmeleva A.V. Analysis of the relationship between the level of qualification of workers in production and profit indicators: an economic rationale for investing in personnel training. *Agrarian science*. 2024; (11): 30–33 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-30-33>

22. Nazarov D.M., Begicheva S.V., Koppin A.A. Large language models (LLM): a new stage of digital transformation of the Russian agro-industrial complex. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25(7): 1129–1142 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-07-1129-1142>

23. Petrunova R.M., Vasilyeva V.D., Petrunova J.V. Digital Students: Myths and Reality. *Higher Education in Russia*. 2019; 28(11): 47–55 (in Russian). <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-11-47-55>

24. Mezentseva D.A., Dzhavakh E.S., Eliseeva O.V., Bagautdinova A.Sh. On the Question of Pedagogical Digital Competence. *Higher Education in Russia*. 2020; 29(11): 88–97. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-11-88-97>

25. Baranov V.N., Bezrukh A.I., Konstantinov I.L., Rudnitsky E.A., Sолопеко N.S., Baykovskiy Yu.V. Digital Twin Application in Teaching Students Majoring in Metallurgical Engineering. *Higher Education in Russia*. 2022; 31(2): 135–148 (in Russian). <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2022-31-2-135-148>

26. Gurov S.Yu., Gurova T.Yu., Nasalevich T.V., Tarasenko T.V., Yurchenko A.V. Readiness of future agricultural specialists to develop a language culture in their professional activities. *Agrarian science*. 2025; (8): 150–154 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-150-154>

AUTHORS' INFORMATION

Andrey Nikolaevich Kokhichko

Doctor of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Pedagogy

andrey_kokhichko@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7779-5778>

Murmansk Arctic University,
15 Captain Yegorov st., Murmansk, 183038, Russia

УДК 631.371:621.313:004.896

Краткое сообщение



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-175-180

А.Н. Цветков

Казанский государственный
энергетический университет,
Казань, Россия

✉ tsvetkov9@mail.ru

Поступила в редакцию: 09.04.2026

Одобрена после рецензирования: 17.07.2026

Принята к публикации: 01.08.2026

© Цветков А.Н.

Адаптивные алгоритмы управления электроприводами насосных установок оросительных систем в условиях цифровизации агропромышленного комплекса: стендовые исследования и производственная верификация

РЕЗЮМЕ

Представлены результаты разработки и экспериментального исследования адаптивных алгоритмов управления электроприводами насосных установок оросительных систем, основанных на анализе ваттметрограммы — зависимости потребляемой электроприводом активной мощности от времени. Алгоритм предусматривает автоматическое формирование эталона нагрузки при пуске (предварительный эталон — через 30 минут, окончательный — через 60 минут после стабилизации режима), допусковой контроль «меньше — норма — больше» относительно эталона и мажоритарную логику принятия решений «два из трех», исключающую ложные срабатывания защит. Исследование выполнено на специализированном испытательном стенде Казанского государственного энергетического университета с системой нагружения на основе асинхронного электродвигателя с прямым управлением моментом (DTC) и цифровым ПИД-регулятором момента (перерегулирование не более 10%, время регулирования 0,1 с); нагрузочные профили сформированы по ваттметрограммам действующей насосной станции капельного орошения. В 140 стендовых опытах воспроизводились нормальный режим, засорение фильтров и капельных линий, сухой ход и кавитация; вероятность правильной идентификации режимов составила 96,4%, среднее время обнаружения сухого хода — 14 ± 3 с, кавитации — 85 ± 12 с. Производственная верификация на насосной станции сельскохозяйственного предприятия Республики Татарстан (оросительный сезон 2025 г., наработка 720 ч) подтвердила корректность стендовой настройки без перенастройки алгоритмов: своевременно идентифицированы шесть эпизодов прогрессирующего засорения и два эпизода сухого хода, отфильтрованы три ложных возмущения. Зафиксированное за сезон снижение удельного энергопотребления станции на 11,3% относится к переходу от дроссельного регулирования подачи к частотному в целом и представляет расчетную оценку, справедливую при сохранении гидравлических условий водоподдачи; вклад адаптивных алгоритмов в этот результат отдельно не выделялся. Показана возможность интеграции алгоритмов в цифровую платформу предприятия по протоколам Modbus TCP и MQTT в качестве элемента цифровизации агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: цифровизация агропромышленного комплекса, адаптивное управление, электропривод, насосная установка, орошение, ваттметрограмма, испытательный стенд, преобразователь частоты, цифровой регулятор, диагностика осложненных режимов

Для цитирования: Цветков А.Н. Адаптивные алгоритмы управления электроприводами насосных установок оросительных систем в условиях цифровизации агропромышленного комплекса: стендовые исследования и производственная верификация. *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 175–180. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-175-180>

Short communications



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-175-180

Alexei N. Tsvetkov

Kazan State Power Engineering
University, Kazan, Russia

✉ tsvetkov9@mail.ru

Received by the editorial office: 09.04.2026

Accepted in revised: 17.07.2026

Accepted for publication: 01.08.2026

© Tsvetkov A.N.

Adaptive control algorithms for electric drives of irrigation pumping units in the context of agricultural digitalization: bench studies and on-farm verification

ABSTRACT

The article presents the development and experimental study of adaptive control algorithms for electric drives of irrigation pumping units based on the analysis of the wattmeter diagram, i.e. the time dependence of the active power consumed by the electric drive. The algorithm provides automatic formation of a load reference at start-up (a preliminary reference after 30 minutes and a final one after 60 minutes of steady operation), tolerance control of the “less — normal — more” type relative to the reference, and a “two out of three” majority voting logic that excludes false trips. The study was carried out on a specialized test bench of Kazan State Power Engineering University with a loading system based on an induction motor with direct torque control (DTC) and a digital PID torque controller (overshoot below 10%, settling time 0.1 s); the loading profiles were formed from wattmeter diagrams recorded at an operating drip irrigation pumping station. In 140 bench experiments, the normal mode, clogging of filters and drip lines, dry running and cavitation were reproduced; the probability of correct mode identification amounted to 96.4%, the mean detection time was 14 ± 3 s for dry running and 85 ± 12 s for cavitation. On-farm verification at the pumping station of an agricultural enterprise of the Republic of Tatarstan (2025 irrigation season, 720 h of operation) confirmed the correctness of the bench tuning without readjustment of the algorithms: six episodes of progressive clogging and two episodes of dry running were identified in a timely manner and three false disturbances were filtered out. The reduction in the specific energy consumption of the station by 11.3% recorded over the season refers to the transition from throttling to frequency control of water supply as a whole and represents a calculated estimate valid provided that the hydraulic conditions of water supply are preserved; the contribution of the adaptive algorithms to this result was not evaluated separately. The possibility of integrating the algorithms into the digital platform of the enterprise via Modbus TCP and MQTT protocols as an element of agricultural digitalization is shown.

Key words: digitalization of agriculture, adaptive control, electric drive, pumping unit, irrigation, wattmeter diagram, test bench, frequency converter, digital controller, fault diagnostics

For citation: Tsvetkov A.N. Adaptive control algorithms for electric drives of irrigation pumping units in the context of agricultural digitalization: bench studies and on-farm verification. *Agarian science*. 2026; 409(08): 175–180 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-175-180>

Введение/Introduction

Растениеводство опирается на непрерывные потоки производственных данных: показания датчиков влажности почвы, измерения локальных метеостанций, материалы дистанционного зондирования, телематику техники [1, 2]. Исполнительным звеном цифрового контура в инженерной инфраструктуре агропромышленного комплекса служит электропривод насосной станции, вентиляционной установки, технологической линии.

В растениеводстве орошение остается самым энергоемким процессом, основная доля затрат приходится на насосные станции. Умное орошение, при котором расход воды планируется по влажности почвы и прогнозу водопотребления культур, требует управляемости насосного оборудования [3, 4]. Преобразователь частоты позволяет отказаться от дроссельного регулирования; публикуемые оценки экономии электроэнергии при таком переходе составляют 30–40% [4, 5]. Точность поддержания подачи влияет на водосбережение и урожайность [6].

Взвеси и водоросли засоряют сетчатые и дисковые фильтры, затем капельные линии: гидравлическое сопротивление сети растёт, рабочая точка насоса смещается относительно номинальной. При пиковом водоотборе уровень в источнике падает, начинается сухой ход, первым отказывает торцевое уплотнение. Недостаточный подпор на всасывании вызывает кавитацию, разрушающую рабочие колеса. Штатные средства защиты (реле давления, поплавковые и электродные датчики уровня) требуют монтажа и обслуживания отдельного первичного преобразователя и срабатывают уже после развития аварии.

Состояние агрегата диагностируется по электрическим параметрам привода, току и активной мощности, без выхода за пределы шкафа управления [7, 8]. Интегральный диагностический признак — ваттметрограмма, зависимость потребляемой активной мощности от времени. На электроприводах станков-качалок адаптивное управление по ваттметрограмме применяется для диагностики эмульсеобразования и предотвращения аварийных остановок [9, 10].

Воспроизведение сухого хода и кавитации на работающей станции в вегетационный период недопустимо из-за риска для оборудования и графика полива, а многократное повторение этих режимов на действующем объекте невозможно. Настройку алгоритмов выполняют на специализированных испытательных стендах, где записанные на объекте режимы воспроизводятся с требуемым числом повторностей [11, 12].

Цель данной работы — разработка адаптивных алгоритмов идентификации осложненных режимов насосной установки оросительной системы по ваттметрограмме, без дополнительных датчиков, их настройка на испытательном стенде и проверка в производственных условиях с интеграцией в цифровую платформу предприятия.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование выполнено в два этапа. Стендовый этап проведен в Казанском государственном энергетическом университете, производственный — на насосной станции капельного орошения сельскохозяйственного предприятия Республики Татарстан с июня по сентябрь 2025 г.

Объектом послужил электропривод центробежной насосной установки системы капельного орошения: асинхронный двигатель номинальной мощностью 15 кВт, преобразователь частоты, станция управления со встроенными в контроллер адаптивными алгоритмами. Диагностическим параметром принята ваттметрограмма, формируемая штатным ваттметрографом станции управления. Измеряли ток и напряжение в цепи питания. Достаточно измерения по одной фазе: привод создает симметричную нагрузку. Потребляемая активная мощность связана с моментом на валу и частотой вращения через КПД двигателя, поэтому изменение механической нагрузки отражается в ваттметрограмме.

Анализировали среднюю огибающую ваттметрограммы при окне усреднения 10 с, среднеквадратическое отклонение (СКО) огибающей и низкочастотную часть спектра в полосе 2–8 Гц. Засорение фильтров и капельных линий смещает рабочую точку в сторону меньшей подачи, средняя мощность плавно снижается (для центробежных насосов с лопатками, загнутыми назад). Сухой ход сопровождается падением мощности на 35–40% за 10–20 с. Кавитация проявляется колебаниями мощности 2–8 Гц при росте СКО огибающей в 3–4 раза [7, 8]. Механическое повреждение и заклинивание повышают мощность сверх эталонной.

Единые пороговые уставки для разных объектов неприменимы: оросительные системы различаются протяжённостью и конфигурацией трубопроводов, статическим напором, водоисточником и качеством воды. Эталон нагрузки формируется индивидуально для каждой установки при пуске в технически исправном состоянии: фильтры промыты, всасывающая линия заполнена, приток воды подтверждён. Схема апробирована на электроприводах станков-качалок [9].

При пуске и стабилизации отклонения средней огибающей не выходят за $\pm 3\sigma$. Предварительный эталон фиксируется через 30 мин, окончательный — через 60 мин при стабилизировавшейся подаче. Далее выполняется периодический контроль с интервалом 60 с, и для каждого окна усреднения вычисляется коэффициент режима КР по формуле (1):

$$K_p(t) = W_{\text{ТЕК}}(t)/W_{\text{ЭТАЛ}} \quad (1)$$

где: $W_{\text{ТЕК}}(t)$ — текущее значение средней огибающей ваттметрограммы; $W_{\text{ЭТАЛ}}$ — эталонное значение, зафиксированное при пуске.

Текущая ваттметрограмма сопоставляется с эталонной по схеме допускового контроля «меньше — норма — больше». Режим считается нормальным при доле частных решений «норма» не ниже 90%. Иначе применяется мажоритарная логика «два из трех» по трем последним измерениям с доводкой до «три из трех»; так отфильтровываются просадка напряжения сети, переключение задвижки, прохождение воздушной пробки. Реакция дифференцирована по виду осложнения. Устойчивое снижение КР до 0,85 с трендом 0,8–1,2 %/ч формирует сигнал о промывке фильтров. При КР ниже 0,65 и скорости снижения свыше 2 %/с фиксируется сухой ход: привод останавливается и автоматически перезапускается после восстановления притока. Рост СКО огибающей втрое и более с составляющими 2–8 Гц идентифицируется как кавитация, частота вращения снижается на 20% на 30 мин, затем ступенчато возвращается к заданию [9, 10].

Настройку выполняли на испытательном стенде, созданном для исследования электроприводов возвратно-поступательного и вращательного действия [10–12]. Управляющий сигнал формируется персональным компьютером в цифровом виде, цифро-аналоговый преобразователь преобразует его в унифицированный токовый сигнал 4–20 мА, который поступает на преобразователь частоты нагрузочного асинхронного двигателя. Нагрузочный двигатель работает в режиме прямого управления моментом (DTC) и жестко соединен с валом испытуемого привода через датчик момента. Переход на DTC вместо противовключения исключил перегрев нагрузочной машины и повысил быстродействие системы нагружения [12]. В контур введен цифровой ПИД-регулятор момента с передаточной функцией (2):

$$W(s) = K_p + K_i/s + K_d \cdot s \quad (2)$$

Дискретная реализация получена билинейным преобразованием и записана разностными уравнениями в программном обеспечении аппаратно-программного комплекса стенда [11]. С регулятором перерегулирование системы нагружения не превышало 10%, время регулирования составило 0,1 с, приборная погрешность скомпенсирована.

Нагрузочные профили сформированы по ваттметрограммам действующей насосной станции капельного орошения сельскохозяйственного предприятия Республики Татарстан — два агрегата по 15 кВт, оросительный сезон 2025 г. Тренды засорения масштабировали по гидравлической модели сети и журналу эксплуатации станции. Воспроизводили четыре группы режимов (таблица 1), каждую по 35 повторностей при установившемся тепловом состоянии двигателя, всего 140 опытов.

Вероятность идентификации принимали равной доле правильных решений в серии из 35 опытов. Время обнаружения представляли выборочным средним $\pm$ выборочное стандартное отклонение по тем же 35 повторностям, отдельно фиксировали число ложных срабатываний. При таком объеме выборки полуширина 95%-го доверительного интервала для среднего времени обнаружения не превышает 1 с для сухого хода, 4 с для кавитации и 0,2 ч для засорения.

Производственную проверку выполнили на той же станции в оросительный сезон 2025 г., суммарная наработка 720 ч. В станцию управления загрузили версию программного обеспечения с настроенными на стенде алгоритмами. Под объектами не перенастраивали. Идентифицированные эпизоды сопоставляли с перепадом давления на фильтрах, уровнем воды в водозаборе и записями журнала эксплуатации.

Базой сравнения по удельному энергопотреблению (кВт·ч на кубометр поданной воды) служил оросительный сезон 2024 г., когда та же станция работала на нерегулируемом приводе, а подачу регулировали дросселированием напорной задвижки. Значение за 2024 г. принято по журналу учета станции: электроэнергия по счётчику, объем воды по расходомеру. Сопоставление основано на допущении о сравнимости гидравлических условий двух сезонов (объем водоподачи, статический напор, качество воды); независимой проверки по данным станции не выполняли, поэтому сравнение носит оценочный характер. Обмен с сервером предприятия выполнялся по Modbus TCP, телеметрия публиковалась в MQTT-брокер и накапливалась в базе данных временных рядов.

Таблица 1. Режимы работы насосной установки, воспроизводимые на испытательном стенде

Table 1. Operating modes of the pumping unit reproduced on the test bench

Режим	Источник данных нагрузочного профиля	Характерное проявление в ваттметрограмме	Число опытов
Нормальный режим	Ваттметрограммы действующей насосной станции (оросительный сезон 2025 г.)	Стабильная средняя мощность 12,6 $\pm$ 0,3 кВт	35
Засорение фильтров и капельных линий	Журнал эксплуатации станции, гидравлическая модель сети	Плавное снижение средней мощности со скоростью 0,8–1,2 %/ч	35
Сухой ход	Зарегистрированный эпизод падения уровня воды в водозаборе	Падение мощности на 35–40% за 10–20 с	35
Кавитация	Полевые записи при дросселировании всасывающей линии	Колебания мощности с частотами 2–8 Гц, рост СКО огибающей в 3–4 раза	35
Итого	—	—	140

Примечание. Ваттметрограммы нормального режима и осложненных режимов записаны штатным ваттметрографом станции управления без установки дополнительных датчиков. Источник: данные эксперимента.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Цифровой ПИД-регулятор момента воспроизводил записанные на объекте ваттметрограммы с относительной погрешностью по СКО не более 2,5%. Без корректирующего контура перерегулирование при ступенчатом изменении нагрузки достигало 30–35% при времени реакции около 0,5 с, с включённым контуром — не более 10% при времени регулирования 0,1 с.

Нормальный режим (частота питания 50 Гц) воспроизводился при средней потребляемой мощности $12,6 \pm 0,3$ кВт и СКО огибающей 0,14 кВт. Предварительный эталон сформирован через 30 мин после пуска и уточнён через 60 мин, после стабилизации сигнала. Дальнейший контроль выполнялся по КР с окном усреднения 10 с и интервалом 60 с [9, 10].

Результаты идентификации сведены в таблице 2. Из 140 стендовых опытов правильные решения приняты в 135 (96,4%). Падение мощности на 35–40% за 10–20 с алгоритм идентифицировал во всех 35 опытах сухого хода, в среднем за 14 ± 3 с. Засорение, воспроизведённое трендом 0,8–1,2 %/ч, выявлено в 34 опытах из 35; устойчивое решение при тренде 1 %/ч формировалось за $4,2 \pm 0,6$ ч. Кавитация распознана в 32 опытах из 35 (91,4%). В трёх случаях колебания мощности маскировались переходными процессами при изменении задания подачи. Достоверность распознавания кавитации может быть повышена спектральной обработкой сигнала и классификаторами машинного обучения [4, 16].

За 720 ч наработки идентифицировано шесть эпизодов прогрессирующего засорения: сигнал о промывке формировался при снижении КР до 0,85 и подтверждался ростом перепада давления на фильтрах с 0,04 до 0,09 МПа. Два эпизода сухого хода, вызванные падением уровня в водозаборе при пиковом отборе, распознаны за 14 и 17 с; выполнены автоматический останов и перезапуск после восстановления притока. Три кратковременных возмущения (провалы напряжения сети, переключение задвижек при переходе между поливными участками) отфильтрованы мажоритарной логикой. Ложные остановки за сезон не зарегистрированы.

Удельное энергопотребление снизилось с 0,160 до 0,142 кВт·ч/м³, на 11,3% относительно

сезона 2024 г. В сезоне 2025 г. станция перешла от дроссельного регулирования подачи к частотному по графику полива с контролем КР. Разделить вклад смены способа регулирования и алгоритмического контроля по имеющимся данным невозможно; основная часть эффекта относится к отказу от дросселирования, экономия при котором оценивается в 30–40% [4, 5]. Раннее обнаружение засорения удерживает гидравлическое сопротивление сети ближе к расчетному и снижает удельный расход энергии; вынужденные снижения частоты вращения при идентификации кавитации и остановки при сухом ходе уменьшают объём поданной воды. Количественно ни один из эффектов не измерялся, сокращение объемов недополива за счёт раннего обнаружения засорения также не оценивалось [6].

Величина 11,3% получена расчетом и справедлива при сохранении гидравлических условий водоподачи (объем подачи, статический напор, качество воды); измеренным эффектом предложенной системы она не является. Оценка находится в нижней части опубликованного диапазона для регулируемых электроприводов насосных систем [4, 5]: частота вращения ограничивалась снизу требованием к минимальному давлению в капельной сети. Раздельная оценка требует синхронного опыта на двух агрегатах станции, один из которых работает под адаптивным управлением, второй под базовым частотным, при одном и том же графике полива. Такой эксперимент не проводился.

Значения времени обнаружения сухого хода на объекте (14 и 17 с) лежат в пределах стендового интервала 14 ± 3 с; динамика формирования эталона совпадает со стендовой. Адаптация к конкретной установке обеспечивается эталоном нагрузки, формируемым при пуске [9, 10].

Решение бездатчиковое и реализовано на уровне станции управления приводом (граничный, edge, уровень). В цифровую платформу передаются агрегированные диагностические признаки и события [13, 15, 16]. Накопленные ваттметрограммы вместе с данными о водоподаче служат исходными данными для цифрового двойника станции и прогностического обслуживания оборудования [14].

Работа выполнена на одном типе насосного оборудования (консольные центробежные насосы

Таблица 2. Результаты идентификации режимов адаптивным алгоритмом на испытательном стенде и при производственной верификации

Table 2. Results of mode identification by the adaptive algorithm on the test bench and during on-farm verification

Режим	Опыты на стенде	Правильные решения, %	Среднее время обнаружения	Эпизоды на объекте	Выявлено
Нормальный режим	35	97,1	—	—	—
Засорение фильтров и капельных линий	35	97,1	$4,2 \pm 0,6$ ч (при тренде 1 %/ч)	6	6
Сухой ход	35	100	14 ± 3 с	2	2
Кавитация	35	91,4	85 ± 12 с	—	—
Итого	140	96,4	—	8	8

Примечание. Для нормального режима указана доля опытов без ложных срабатываний защит; производственная верификация выполнена в течение оросительного сезона 2025 г. при суммарной наработке 720 ч. Источник: данные эксперимента.

с лопатками, загнутыми назад), на одной станции и за один оросительный сезон.

Перенос на погружные скважинные агрегаты потребует уточнения диагностических признаков.

Энергетическая часть выводов основана на межсезонном сравнении без нормировки по объёму подачи и напору, вклад алгоритмов в ней не выделен. Направления продолжения: проверка спектральных признаков ваттметрограммы классификаторами машинного обучения и синхронный опыт с отдельной оценкой энергетического эффекта, а также сопряжение адаптивного управления станцией с системами точного орошения, управляемыми по данным датчиков влажности почвы [3, 4].

Выводы/Conclusion

1. На испытательном стенде вероятность правильной идентификации осложнённых режимов насосной установки по ваттметрограмме составила 96,4%, сухой ход выявлялся за 14 с.

2. Эталон нагрузки формируется автоматически в первые 60 мин пуска, решения принимаются по мажоритарной логике. Ручная настройка

пороговых значений для конкретной оросительной системы не требуется.

3. Производственная верификация в течение оросительного сезона подтвердила корректность стендовых настроек; алгоритмы применимы как компонент системы управления электроприводом насосной станции и переносимы на однотипное оборудование.

4. Снижение удельного энергопотребления на 11,3% не может быть отнесено к адаптивным алгоритмам: величина получена сравнением двух сезонов с разными способами регулирования, сопоставимость гидравлических условий не контролировалась. Раздельная оценка энергетического вклада алгоритмов требует контролируемого эксперимента с синхронной работой двух идентичных агрегатов.

5. Достоверность распознавания кавитации 91,4% недостаточна для безусловного применения. Её повышение возможно методами машинного обучения. Дальнейшие исследования направлены на создание цифровых двойников насосных станций с интеграцией разработанных алгоритмов в платформы точного орошения.

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

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 work was carried out with the support of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, scientific and other organizations for the support of human resources development plans, in the part related to encouraging their research and academic teaching staff to defend doctoral dissertations and to carry out research work.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mansoor S., Iqbal S., Popescu S.M., Kim S.L., Chung Y.S., Baek J.-H. Integration of smart sensors and IoT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1587869. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
2. Soussi A., Zero E., Sacile R., Trincherio D., Fossa M. Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*. 2024; 24(8): 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
3. García L., Parra L., Jimenez J.M., Lloret J., Lorenz P. IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*. 2020; 20(4): 1042. <https://doi.org/10.3390/s20041042>
4. Nsoh B. et al. Internet of Things-Based Automated Solutions Utilizing Machine Learning for Smart and Real-Time Irrigation Management: A Review. *Sensors*. 2024; 24(23): 7480. <https://doi.org/10.3390/s24237480>
5. Cingöz T., Toylan H., Uğurlu A. Optimization of Variable Frequency Drive Used in Water Pumping Systems for Energy Efficiency. *Water*. 2026; 18(12): 1405. <https://doi.org/10.3390/w18121405>
6. Lakhiar I.A. et al. A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints. *Agriculture*. 2024; 14(7): 1141. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071141>
7. Liang C., Hao Y., Tengzhou X., Zhiguo L. Identification of cavitation state of centrifugal pump based on current signal. *Frontiers in Energy Research*. 2023; 11: 1204300. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1204300>
8. Luo Y., Zhixiang X., Sun H., Yuan S., Yuan J. Research on the induction motor current signature for centrifugal pump at cavitation condition. *Advances in Mechanical Engineering*. 2015; 7(11): 1687814015617134. <https://doi.org/10.1177/1687814015617134>
9. Tsvetkov A.N., Safin A.R., Ivshin I.V., Petrov T.I., Misbakhov R.Sh., Kornilov V.Yu. Adaptive Control System of the Pumping Unit. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019; 8(5S3): 289–291. <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1064.0785S319>
10. Цветков А.Н., Корнилов В.Ю., Сафин А.Р., Кувшинов Н.Е., Петров Т.И., Гибадуллин Р.Р. Разработка стенда для исследования электроприводов станков-качалок. *Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета*. 2020; 23(4): 364–375. EDN EAZOPH

REFERENCES

1. Mansoor S., Iqbal S., Popescu S.M., Kim S.L., Chung Y.S., Baek J.-H. Integration of smart sensors and IoT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1587869. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
2. Soussi A., Zero E., Sacile R., Trincherio D., Fossa M. Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*. 2024; 24(8): 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
3. García L., Parra L., Jimenez J.M., Lloret J., Lorenz P. IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*. 2020; 20(4): 1042. <https://doi.org/10.3390/s20041042>
4. Nsoh B. et al. Internet of Things-Based Automated Solutions Utilizing Machine Learning for Smart and Real-Time Irrigation Management: A Review. *Sensors*. 2024; 24(23): 7480. <https://doi.org/10.3390/s24237480>
5. Cingöz T., Toylan H., Uğurlu A. Optimization of Variable Frequency Drive Used in Water Pumping Systems for Energy Efficiency. *Water*. 2026; 18(12): 1405. <https://doi.org/10.3390/w18121405>
6. Lakhiar I.A. et al. A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints. *Agriculture*. 2024; 14(7): 1141. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071141>
7. Liang C., Hao Y., Tengzhou X., Zhiguo L. Identification of cavitation state of centrifugal pump based on current signal. *Frontiers in Energy Research*. 2023; 11: 1204300. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1204300>
8. Luo Y., Zhixiang X., Sun H., Yuan S., Yuan J. Research on the induction motor current signature for centrifugal pump at cavitation condition. *Advances in Mechanical Engineering*. 2015; 7(11): 1687814015617134. <https://doi.org/10.1177/1687814015617134>
9. Tsvetkov A.N., Safin A.R., Ivshin I.V., Petrov T.I., Misbakhov R.Sh., Kornilov V.Yu. Adaptive Control System of the Pumping Unit. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019; 8(5S3): 289–291. <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1064.0785S319>
10. Tsvetkov A.N., Kornilov V.Yu., Safin A.R., Kuvshinov N.E., Petrov T.I., Gibadullin R.R. Development of a stand for researching electric drives of pumping units. *Vestnik of MSTU. Scientific Journal of Murmansk State Technical University*. 2020; 23(4): 364–375 (in Russian). EDN EAZOPH

11. Оськин С.П., Кузнецов А.В., Конева Н.Е. Функциональное моделирование и параметрическая оценка компонентов IoT-системы сбора данных для задач точного земледелия. *Аграрная наука*. 2026; (4): 137–143. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-137-143>

12. Омелченко Е.Я., Белый А.В., Енин С.С., Фомин Н.В. Энергоэффективные испытательные стенды для электродвигателей. Электротехнические системы и комплексы. 2018; (3): 12–19. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3\(40\)-12-19](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3(40)-12-19)

13. Kalyani Y., Collier R. A Systematic Survey on the Role of Cloud, Fog, and Edge Computing Combination in Smart Agriculture. *Sensors*. 2021; 21(17): 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>

14. Peladarinos N., Piromalis D., Cheimaras V., Tserepas E., Munteanu R.A., Papageorgas P. Enhancing Smart Agriculture by Implementing Digital Twins: A Comprehensive Review. *Sensors*. 2023; 23(16): 7128. <https://doi.org/10.3390/s23167128>

15. Yu P., Teng F., Zhu W., Shen C., Chen Z., Song J. Cloud-edge-device collaborative computing in smart agriculture: architectures, applications, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1668545. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1668545>

16. Sathupadi K., Achar S., Bhaskaran S.V., Faruqi N., Abdullah-Al-Wadud M., Uddin J. Edge-Cloud Synergy for AI-Enhanced Sensor Network Data: A Real-Time Predictive Maintenance Framework. *Sensors*. 2024; 24(24): 7918. <https://doi.org/10.3390/s24247918>

11. Oskin S.P., Kuznetsov A.V., Koneva N.E. Functional modeling and parametric evaluation of components of an IoT data collection system for precision agriculture. *Agrarian science*. 2026; (4): 137–143 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-137-143>

12. Omelchenko E.Ya., Belyi A.V., Enin S.S., Fomin N.V. Energy-Efficient Test Facility for Electric Motors. *Electrotechnical Systems and Complexes*. 2018; (3): 12–19 (in Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3\(40\)-12-19](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-3(40)-12-19)

13. Kalyani Y., Collier R. A Systematic Survey on the Role of Cloud, Fog, and Edge Computing Combination in Smart Agriculture. *Sensors*. 2021; 21(17): 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>

14. Peladarinos N., Piromalis D., Cheimaras V., Tserepas E., Munteanu R.A., Papageorgas P. Enhancing Smart Agriculture by Implementing Digital Twins: A Comprehensive Review. *Sensors*. 2023; 23(16): 7128. <https://doi.org/10.3390/s23167128>

15. Yu P., Teng F., Zhu W., Shen C., Chen Z., Song J. Cloud-edge-device collaborative computing in smart agriculture: architectures, applications, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1668545. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1668545>

16. Sathupadi K., Achar S., Bhaskaran S.V., Faruqi N., Abdullah-Al-Wadud M., Uddin J. Edge-Cloud Synergy for AI-Enhanced Sensor Network Data: A Real-Time Predictive Maintenance Framework. *Sensors*. 2024; 24(24): 7918. <https://doi.org/10.3390/s24247918>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Николаевич Цветков

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Электроснабжение
промышленных предприятий»
tsvetkov9@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4795-8844>

Казанский государственный энергетический университет,
ул. Красносельская, 51, Казань, 420066, Россия

AUTHORS' INFORMATION

Alexei Nikolaevich Tsvetkov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Power
Supply of Industrial Enterprises
tsvetkov9@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4795-8844>

Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya st., Kazan, 420066, 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