

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

12
2025



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



ВЕТЕРИНАРИЯ

Морфофункциональные изменения
тощей и слепой кишок кроликов
при применении пробиотических
добавок

28

ЗООТЕХНИЯ

Сопряженность возраста первого
осеменения телок с продуктивностью
коров в зависимости от возраста в
лактациях

76

АГРОНОМИЯ

Пирикулярриоз риса: мониторинг,
прогноз распространения в
Краснодарском крае

138



2026

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ, ЧИТАТЕЛИ, АВТОРЫ, ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ, РЕЦЕНЗЕНТЫ И ПАРТНЕРЫ ЖУРНАЛА «АГРАРНАЯ НАУКА»!

Поздравляю вас с наступающим 2026 годом. Я надеюсь, что новый год станет плодотворным периодом для реализации ваших профессиональных и исследовательских задач. Пусть он будет ознаменован значимыми научными результатами, продуктивной работой и новыми достижениями, которые внесут весомый вклад в развитие аграрной науки и сельскохозяйственного производства.

Выражаю искреннюю признательность за ваше доверие, эффективное сотрудничество и неизменное следование высоким стандартам научной деятельности. Ваши исследования имеют фундаментальное значение для обеспечения устойчивого развития агропромышленного комплекса. Желаю, чтобы ваша научная работа отличалась методологической строгостью, а ее результаты характеризовались высокой научной новизной и практической значимостью для отрасли.

Надеюсь, что 2026 год будет щедр на радостные события как на работе, так и в личной жизни.

Желаю всем крепкого здоровья, счастья и теплого семейного праздника.

С уважением,
главный редактор журнала «Аграрная наука» Борис Виолин



© журнал «Аграрная наука»

© авторы

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

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

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

Шеф-редактор Костромичева И.В.

Научный редактор Долгая М.Н.

Дизайн и верстка Антонов С.Н.

Редактор-корректор Кузнецова Г.М.

Библиограф Нерозник Д.С.

Журналист Седова Ю.Г.

Менеджер по работе с клиентами Теплова А.С.

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

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

Тел. редакции +7 (916) 616-05-31

agrovetpress@inbox.ru

www.vetpress.ru

<https://agrarnayanauka.ru>

Реклама в журнале: +7 (927) 155-08-10

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС 77-76484

от 02 августа 2019 года.

На печатный журнал можно подписаться:

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

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

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

Подписка на архивные номера и отдельные статьи: на сайте научной редакции

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

на сайте научной электронной библиотеки

www.elibrary.ru

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.

Подписано в печать 05.12.2025

Дата выхода в свет 12.12.2025

Отпечатано в типографии

ООО «Поли Принт Сервис», 127015,

г. Москва, ул. Бутырская, д. 86

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

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

Издатель:

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора:

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

Редакционная коллегия

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

Омбаев А.М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, иностранный член РАН, Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, г. Алматы, Казахстан.

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:

Абдурасулов 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, Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, г. Махачкала, Россия.

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

Баймуханов Д.А., доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, г. Алматы, Казахстан.

Булашев А.К., доктор ветеринарных наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет им. Сакена Сейфуллина, г. Астана, Казахстан.

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

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

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

Карынбаев А.К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан.

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.

Кривоногова А.С., доктор биологических наук, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УРО РАН (Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт), г. Екатеринбург, Россия.

Кушалиев К.Ж., доктор ветеринарных наук, профессор, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан.

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

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

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.

Лысенко Ю.А., доктор биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.
Миколойчик И.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Курганский государственный университет, г. Курган, Россия.
Миронова И.В., доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.
Морозова Л.А., доктор биологических наук, профессор, Курганский государственный университет, г. Курган, 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.
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.
Щербаков П.Н., доктор ветеринарных наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

АГРОНОМИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Годсвилл Н.Н., PhD, Университет Яунде I, г. Яунде, Камерун.

Джурраев 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.

Джалилов Ф.С., доктор биологических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, 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.

Дарвиш А.М.Г., PhD, Город научных исследований и технологических приложений, г. Александрия, Египет.

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

Дидманидзе О.Н., доктор технических наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Зенгин Г., PhD, профессор, Сельчукский университет, г. Сельчуклу-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.

Шехата М.Г.М., PhD, Город научных исследований и технологических приложений, г. Каир, Египет.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

Брюханов 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.

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

Калинина И.В., 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.

Мамедов Г.Б., доктор технических наук, профессор, Азербайджанский государственный аграрный университет, г. Гянджа, Азербайджан.

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

Семёнова 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, Москва, Россия.

Суйчинов А.К., PhD, Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, г. Алматы, Казахстан.

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.

Эль-Сохайми С.А., PhD, профессор, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, 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.

Киреева А.А., кандидат экономических наук, Институт экономики, г. Алматы, Казахстан.

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.

Рахметова Р.У., доктор экономических наук, профессор, Университет Туран, г. Астана, Казахстан.

12 · 2025

Agrarnaya nauka

Том 401, номер 12, 2025

Volume 401, number 12, 2025

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© journal «Agrarian science»

© authors

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

Founder: Limited liability company "VIC Animal Health"

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

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

Postal address: 109147, Russian Federation, Moscow, 3 Marxistskaya Str., 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 05.12.2025

Release date 12.12.2025

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

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

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

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

Publisher:

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

Deputy Editor-in-Chief

Rebezov M.B., Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, V.M. Gorbatov 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.

Ombaev A.M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Kazakh Research Institute of Animal Husbandry and Forage Production, Almaty, Kazakhstan.

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

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

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

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

Baimukanov D.A., Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Kazakh Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production, Corresponding member of National Academy of Sciences, Almaty, Kazakhstan.

Bulashev A.K., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan.

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

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

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

Karynbaev A.K., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan.

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.

Krivosogova A.S., Doctor of Biological Sciences, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ural Veterinary Research Institute), Yekaterinburg, Russia.

Kushaliev K.Zh., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Zhanger Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan.

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

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

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

Mikolaichik I.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kurgan State University, Kurgan, Russia.

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

Morozova L.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kurgan State University, Kurgan, 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.

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+

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.

AGRONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Godswill N.N., 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 Aforestation 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.
Darwish A.M.G., PhD, City of Scientific Research and Technological Applications, Alexandria, Egypt.
de Souza K.C., PhD, Blumenau Regional University, Blumenau, Brazil.
Didmanidze O.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.
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.
Shehata M.G.M., PhD, City of Scientific Research and Technological Applications, Cairo, Egypt.
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:

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.
El-Sohaimy S.A., PhD, Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, 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.
Semyonova 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.
Kireeva A.A., Candidate of Economic Sciences, Institute of Economics, Almaty, Kazakhstan.
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.
Ramazanov I.A., Doctor of Economics, Associate Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М. Публикационная активность в инфографике (часть 7-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 и 2024 гг.)	8
--	---

ВЕТЕРИНАРИЯ

Капустин А.В., Шастин П.Н., Савинов В.А. Супова А.В., Полякова И.В. Мониторинг распространенности и патогенных свойств видов <i>Clostridium</i> у сельскохозяйственных животных и птиц в Российской Федерации	16
Панин А.Н., Моторыгин А.В., Абросимова Н.С., Межиева З.Х., Прасолова О.В., Маноян М.Г. Определение вида <i>Escherichia coli</i> : проблемы таксономии и филогении	22
Золотова А.В., Хорева Т.И., Гаффарова В.М., Сафонова С.С. Морфофункциональные изменения тощей и слепой кишок кроликов (<i>Oryctolagus cuniculus domesticus</i>) при применении пробиотических добавок «Энзимспорин» и <i>L. brevis</i> 47f	28
Колесник Е.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Швецов Г.Г., Штак Е.А. Дифференциальные цитофизиологические маркеры эритроидных прекурсоров, зрелых эритроидных клеток и теней эритроидных клеток вследствие эриптоза в организме животных	36
Сметанина Е.С., Ладанова М.А. Эффективность применения Авекардита у собак с эндокардиозом митрального клапана при анестезии для санации ротовой полости: сравнительное исследование гемодинамики	44
Гнездилова Л.А., Розинский С.М., Круглова Ю.С., Мурадян Ж.Ю. Влияние адаптогена бетулина на уровень иммуноглобулинов сыворотки крови племенных телят и коров дойного стада	50

ЗООТЕХНИЯ

Крупин Е.О. Тепловой стресс у молочного скота в Приволжском федеральном округе Российской Федерации: миф или реальность (ретроспективный анализ с 1970 по 2024 г.)	59
Yesimbetov A. T., Turganbayev R. U., Madrahimov Sh. N., Mamatov Kh. A., Sultanov Yu. F., Aytjanov R. T. Comparative assessment of meat productivity of purebred and crossbred sheep of fat-tailed breeds in the conditions of the Republic of Karakalpakstan	68
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 лактациях	76
Ozdemirov A. A., Akayeva R. A., Huseynova Z. M., Alieva P. O. Productivity and immunoreactivity of small ruminants of different genotypes	85
Сингина Г.Н., Шедова Е.Н., Лопухов А.В. Влияние различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 на <i>in vitro</i> созревание ооцитов и последующее развитие партеногенетических эмбрионов у крупного рогатого скота	93
Харзинова В.Р., Цыб А.М., Абдельманова А.С., Бакоев Н.Ф., Чурбакова Н.А., Зиновьева Н.А. Характеристика генетической структуры и разнообразия российской популяции свиней венгерской породы мангалица на основе полногеномного SNP-генотипирования	99
Абдельманова А.С., Чаицкая К.Д., Форнара М.С., Щеголев П.О., Чаицкий А.А., Боронецкая О.И., Королев А.А., Зиновьева Н.А. Исследование сохранности генетических компонентов родоначальника костромской породы в современных популяциях на основании анализа микросателлитных маркеров	106
Николаев С.В., Филатов А.В. Сравнительная генетическая оценка двух популяций северного оленя ненецкой породы уральского экотипа	116

АГРОНОМИЯ

Романова И.Н., Перепицай М.И., Птицына Н.В., Козлов Ю.В., Мартынова К.В. Формирование урожайности и элементов ее структуры у сорта льна-долгунца Феникс в зависимости от минерального питания	123
Асташова Т.В., Асташов А.Н., Бударина В.С., Сафронов А.А., Сучкова М.Г. Новый высокопродуктивный сорт пайзы Лада для засушливых регионов Российской Федерации	131
Брагина О.А., Говердовская М.Д., Лыско И.А., Есаулова Л.В. Пирикулярриоз риса: мониторинг, прогноз распространения в Краснодарском крае	138
Атакова Е.А., Абраменко И.С. Оценка показателей адаптивности сортов сои в конкурсном сортоиспытании в условиях лесостепи Среднего Поволжья	147
Базанов Т.А., Ущиповский И.В., Рожмина Т.А., Логинова Н.Н., Минина Е.В., Вересова П.Д. Молекулярная оценка генетической однородности линий льна методом SSR-анализа	155
Шахмирзоев Р.А., Казиев М.-Р.А. Агротехнические приемы и критерии адаптации фундука (<i>Corylus avellana</i> L.) в предгорьях Дагестана	164

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Вельможина К.А., Шинкевич П.С., Политаева Н.А., Чусов А.Н., Масликов В.И., Опарина А.М. Влияние добавки из микроводорослей после культивирования в условиях повышенного содержания CO ₂ на процесс анаэробного сбраживания органосодержащих отходов	171
Иванов Ю.Г., Андреев С.А., Понизовкин Д.А. Исследование влияния влажной очистки кожного покрова коров автоматическим щеточным устройством на тепловой стресс в летний период времени	180

CONTENTS

EDITOR'S COLUMN

<i>Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M.</i> Publication Activity in Infographics (Part 7): A Comparative Analysis of a Two-Year Period (2023 and 2024)	8
--	---

VETERINARY MEDICINE

<i>Kapustin A.V., Shastin P.N., Savinov V.A., Supova A.V., Polyakova I.V.</i> Monitoring of the prevalence and pathogenic properties of <i>Clostridium</i> species in farm animals and birds in the Russian Federation	16
<i>Panin A.N., Motorygin A.V., Abrosimova N.S., Mezheva Z.K., Prasolova O.V., Manoyan M.G.</i> Definition of the species <i>Escherichia coli</i> : problems of taxonomy and phylogeny	22
<i>Zolotova A.V., Khoreva T.I., Gaffarova V.M., Safonova S.S.</i> Morphofunctional changes in the jejunum and cecum of rabbits (<i>Oryctolagus cuniculus domesticus</i>) when using probiotic supplements "Enzimsporin" and <i>L. brevis</i> 47f.....	28
<i>Kolesnik E.A., Derkho M.A., Rebezov M.B., Shvetsov G.G., Shtakk E.A.</i> Differential cytophysiological markers of erythroid precursors, mature erythroid cells and shadows of erythroid cells in as a result of eryptosis in organism of animals	36
<i>Smetanina E.S., Ladanova M.A.</i> Effectiveness of "Avecardit" use in dogs with mitral valve endocardiosis under anesthesia for oral cavity sanitation: a comparative study of hemodynamics	44
<i>Gnezdilova L.A., Rozinsky S.M., Kruglova Yu.S., Muradyan Zh.Yu.</i> The influence of the adaptogen betulin on the level of immunoglobulins in the blood serum of breeding calves and dairy cows	50

ZOOTECHNICS

<i>Krupin E.O.</i> Heat stress in dairy cattle in the Volga Federal District of the Russian Federation: myth or reality (a retrospective analysis from 1970 to 2024)	59
<i>Yesimbetov A.T., Turganbayev R.U., Madrahimov Sh.N., Mamatov Kh.A., Sultanov Yu.F., Aytjanov R.T.</i> Comparative assessment of meat productivity of purebred and crossbred sheep of fat-tailed breeds in the conditions of the Republic of Karakalpakstan	68
<i>Shalnev O.V., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Irgashev T.A.</i> The correlation of the age of the first insemination of heifers with the productivity of cows depending on the age in lactation.....	76
<i>Ozdemirov A.A., Akayeva R.A., Huseynova Z.M., Alieva P.O.</i> Productivity and immunoreactivity of small ruminants of different genotypes	85
<i>Singina G.N., Shedova E.N., Lopukhov A.V.</i> The effect of different concentrations of insulin-like growth factor-1 on <i>in vitro</i> maturation of oocytes and subsequent development of parthenogenetic embryos in cattle	93
<i>Kharzinova V.R., Tsyb A.M., Abdelmanova A.S., Bakoev N.F., Churbakova N.A., Zinovieva N.A.</i> Characterization of genetic structure and diversity of the Russian population of Hungarian Mangalica pigs based on whole-genome SNP genotyping	99
<i>Abdelmanova A.S., Chaickaya K.D., Fornara M.S., Shchegolev P.O., Chaitsky A.A., Boronetskaya O.I., Korolev A.A., Zinovieva N.A.</i> Study of the preservation of genetic components of the ancestor of the Kostroma breed in modern populations based on the analysis of microsatellite markers	106
<i>Nikolaev S.V., Filatov A.V.</i> Comparative genetic assessment of two populations of reindeer of the Nenets breed of the Ural ecotype	116

AGRONOMY

<i>Romanova I.N., Perepichai M.I., Ptitsyna N.V., Kozlov Yu.V., Martynova K.V.</i> The formation of productivity and elements of its structure in the flax variety-dolgunts Phoenix, depending on the mineral nutrition	123
<i>Astashova T.V., Astashov A.N., Budarina V.S., Safronov A.A., Suchkova M.G.</i> A new highly productive variety of paiza Lada for arid regions of the Russian Federation	131
<i>Bragina O.A., Goverdovskaya M.D., Lysko I.A., Esaulova L.V.</i> Rice pyriculariasis: monitoring, prognosis of its spread in the Krasnodar Territory.....	138
<i>Atakova E.A., Abramenko I.S.</i> Assessment of Soybean Varieties Adaptability in Competitive Variety Testing in the Forest-Steppe Zone of the Middle Volga Region	147
<i>Bazanov T.A., Ushchapovsky I.V., Rozhmina T.A., Loginova N.N., Minina E.V., Veresova P.D.</i> Molecular assessment of genetic homogeneity of flax lines using SSR-analysis	155
<i>Shakmirzoev R.A., Kaziev M.-R.A.</i> Agricultural Practices and Adaptation Parameters for Hazelnut (<i>Corylus avellana</i> L.) Cultivation in the Dagestan Foothills	164

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Velmozhina K.A., Shinkevich P.S., Politaeva N.A., Chusov A.N., Maslikov V.I., Oparina A.M.</i> Effect of microalgae supplementation after cultivation under conditions of elevated CO ₂ content on the process of anaerobic digestion of organo-containing waste	171
<i>Ivanov Yu.G., Andreev S.A., Ponizovkin D.A.</i> Research of the effect of wet cleaning of cows skin with an automatic brushing device on heat stress in the summer	180

УДК: 002.63

Краткое сообщение



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15

М.Б. Ребезов^{1,2}

Б.В. Виолин³ ✉

Я.М. Ребезов⁴

¹Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

²Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал Федерального научно-исследовательского института экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», Москва, Россия

⁴Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Новгород, Россия

✉ agrovetpress@inbox.ru

Поступила в редакцию: 01.10.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М.

Short communications



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15

Maksim B. Rebezov^{1,2}

Boris V. Violin³ ✉

Yaroslav M. Rebezov⁴

¹Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

²Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

³All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant — a branch of the Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia

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

✉ agrovetpress@inbox.ru

Received by the editorial office: 01.10.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M.

Публикационная активность в инфографике (часть 7-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 и 2024 гг.)

РЕЗЮМЕ

Представлен сравнительный анализ показателей концентрации и неравенства публикационной активности журнала «Аграрная наука» за 2023–2024 гг. на основе данных РИНЦ и научной электронной библиотеки Llibrary.ru. Исследование посвящено анализу индексов Херфиндаля — Хиршмана (по цитирующим журналам и организациям авторов), коэффициента самоцитирования и индекса Джини.

Результаты свидетельствуют о стабильном положении журнала в средних зонах рейтингов по пятилетнему индексу Херфиндаля (317 в 2023 г., 315 в 2024 г.) и коэффициенту самоцитирования (14,80 и 14,70 соответственно), что соответствует требованиям РИНЦ, ВАК. Наилучшие результаты зафиксированы для индекса Херфиндаля по организациям авторов (298 в 2023 г., 205 в 2024 г.), где журнал находится в зеленой зоне, входя в топ-25% референтных групп. Индекс Джини снизился с 0,70 до 0,66, что указывает на тенденцию к выравниванию цитируемости статей.

По итогам анализа разработана стратегия развития научного журнала «Аграрная наука», включающая модернизацию редакционной политики, привлечение ведущих авторов и расширение международного присутствия.

Ключевые слова: публикационная активность журнала, научные издания, научные публикации, статистический анализ, индекс Херфиндаля — Хиршмана, коэффициент самоцитирования, индекс Джини, журнал, анализ, РИНЦ, автор, цитируемость статей

Для цитирования: Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М. Публикационная активность в инфографике (часть 7-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 и 2024 гг.). *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 8–15.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15>

Publication Activity in infographics (Part 7): A Comparative Analysis over a Two-Year Period (2023 and 2024)

ABSTRACT

A comparative analysis of concentration and inequality indicators of the publication activity of the «Agrarian science» journal for 2023–2024 is presented, based on data from the Russian Science Citation Index (RSCI) and eLibrary.ru (the scientific electronic library). The study focuses on the analysis of the Herfindahl — Hirschman indices (for citing journals and for author affiliations), the self-citation rate, and the Gini index.

The results indicate the journal's stable position in the middle zones of the rankings for the five-year Herfindahl index (317 in 2023, 315 in 2024) and the self-citation rate (14.80 and 14.70, respectively), which meets the requirements of RSCI and the Higher Attestation Commission (VAK). The best results were recorded for the Herfindahl index by author affiliations (298 in 2023, 205 in 2024), where the journal is in the green zone, ranking among the top 25% of reference groups. The Gini index decreased from 0.70 to 0.66, indicating a trend towards a more equal distribution of article citations.

Based on the analysis, a development strategy for the «Agrarian Science» journal has been formulated, encompassing the modernization of editorial policy, attracting leading authors, and expanding international presence.

Key words: journal publication activity, scientific journals, scientific publications, statistical analysis, Herfindahl — Hirschman index, self-citation coefficient, Gini index, journal, analysis, Russian Science Citation Index (RSCI), author, article citation rate

For citation: Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M. Publication Activity in Infographics (Part 7): A Comparative Analysis of a Two-Year Period (2023 and 2024). *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 8–15 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15>

Введение/Introduction

Журнал «Аграрная наука» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (К1, К2), в список периодических изданий Международной базы данных AGRIS¹, в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в ядро РИНЦ, RSCI², «Белый список»³.

Продолжаем цикл публикаций по оценке публикационной активности и рейтингов журнала «Аграрная наука» [1–5]. Для оценки научных журналов используют различные методики, например подсчет цитирований, расчет импакт-фактора, оценку по рейтингу журналов [2–6].

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект исследования — публикационная активность и ранжирование журнала «Аграрная наука». Предмет исследования — массив данных, представленных в издании в сравнении за 2023 и 2024 гг.

Материалом для исследования были статистические данные, представленные в научной электронной библиотеке eLibrary.ru⁴. Полученные данные анализировали с применением проблемно-тематического и системного анализа.

Продолжаем цикл публикаций в журнале «Аграрная наука» по теме «Оценка наукометрических показателей». Ознакомиться с ранее опубликованными материалами возможно по следующим QR-кодам, представленным в таблице 1.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Продолжение исследований, опубликованных в журнале «Аграрная наука» [6].

Хронологическое распределение индекса Херфиндаля с 2008 по 2024 г. представлено на рисунке 1.

¹ <https://agris.fao.org/>

² Совместный проект Российской академии наук, компаний Clarivate Analytics и Научная электронная библиотека eLibrary.ru — коллекция лучших российских журналов на платформе Web of Science. https://elibrary.ru/project_rsci.asp

³ Сведения о журналах, включенных в актуальную версию «Белого списка» (протоколы заседания Межведомственной рабочей группы по формированию и актуализации «Белого списка» научных журналов от 11.07.2024 № ДС/25-пр, от 15.05.2023 № ДС/17-пр, от 20.10.2022 № ДА/3855-пр).

<https://journalrank.rcsi.science/ru/>

⁴ <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>

⁵ Индекс Херфиндаля — Хиршмана рассчитывается как сумма квадратов процентных долей журналов, цитирующих данный, по отношению к общему количеству цитирований. При расчете учитываются ссылки из текущего года на предыдущие 5 лет, в том числе самоцитирования. Чем больше количество цитирующих журналов и чем равномернее распределены по ним ссылки на данный журнал, тем меньше величина этого показателя.

⁶ Индекс Херфиндаля — Хиршмана рассчитывается как сумма квадратов процентных долей количества статей, опубликованных различными организациями, по отношению к общему количеству статей в журнале в текущем году, в которых организация идентифицирована. Чем больше различных организаций, авторы из которых публикуются в журнале, и чем равномернее распределены между ними публикации, тем меньше величина этого показателя.

Таблица 1. Публикации по теме «Оценка наукометрических показателей журнала «Аграрная наука»»

Table 1. Publications on the topic «Assessment of scientometric indicators of the journal “Agrarian Science”»

Наименование публикации, выходные данные	QR-код публикации
Виолин Б.В., Ребезов М.Б. Анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» за 2023 год. <i>Аграрная наука</i> . 2024; (1): 40–51. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-40-51 Violin B.V., Rebezov M.B. Analysis of publication activity of the journal “Agrarian Science” for 2023. <i>Agrarian science</i> . 2024; (1): 40–51 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-40-51	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Сравнительный анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» за 2022–2023 гг. <i>Аграрная наука</i> . 2024; (3): 38–49. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-38-49 Rebezov M.B., Violin B.V. Comparative analysis of publication activity of the journal “Agrarian Science” for 2022–2023. <i>Agrarian science</i> . 2024; (3): 38–49 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-38-49	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Наукометрический вектор развития. <i>Аграрная наука</i> . 2024; (10): 30–36. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-30-36 Rebezov M.B., Violin B.V. Scientometric vector of development. <i>Agrarian science</i> . 2024; (10): 30–36 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-30-36	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Итоги года. <i>Аграрная наука</i> . 2025; (1): 37–49. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-37-49 Rebezov M.B., Violin B.V. Results of the year. <i>Agrarian science</i> . 2025; (1): 37–49 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-37-49	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Сравнительный анализ за трехлетний период. <i>Аграрная наука</i> . 2025; (2): 42–53. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-42-53 Rebezov M.B., Violin B.V. Comparative analysis over a three-year period. <i>Agrarian science</i> . 2025; (2): 42–53 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-42-53	

Рис. 1. Индекс Херфиндаля — Хиршмана у журнала «Аграрная наука»

Fig. 1. Herfindahl — Hirschman index of the journal “Agrarian Science”



В 2023 году показатель «пятилетний индекс Херфиндаля — Хиршмана по цитирующим журналам» составил 317, а в 2024-м — 523⁷ (рис. 1.1). Отметим, что наилучшие результаты у журнала «Аграрная наука» по данному показателю зафиксированы с 2016 по 2019 г. (min 162, max 178). Это является достаточно хорошим показателем (подтверждается инфографикой, представленной на рис. 2).

Анализируя данные (рис. 1, 2), отмечаем, что наилучшие результаты журнала «Аграрная наука» по показателю «индекс Херфиндаля — Хиршмана по организациям авторов» зафиксированы в 2012 г. — 150. В 2023 году этот индекс составил 298, а в 2024-м снизился на 93 позиции — до 205⁸, что является отличным показателем (подтверждается инфографикой, представленной на рис. 3).

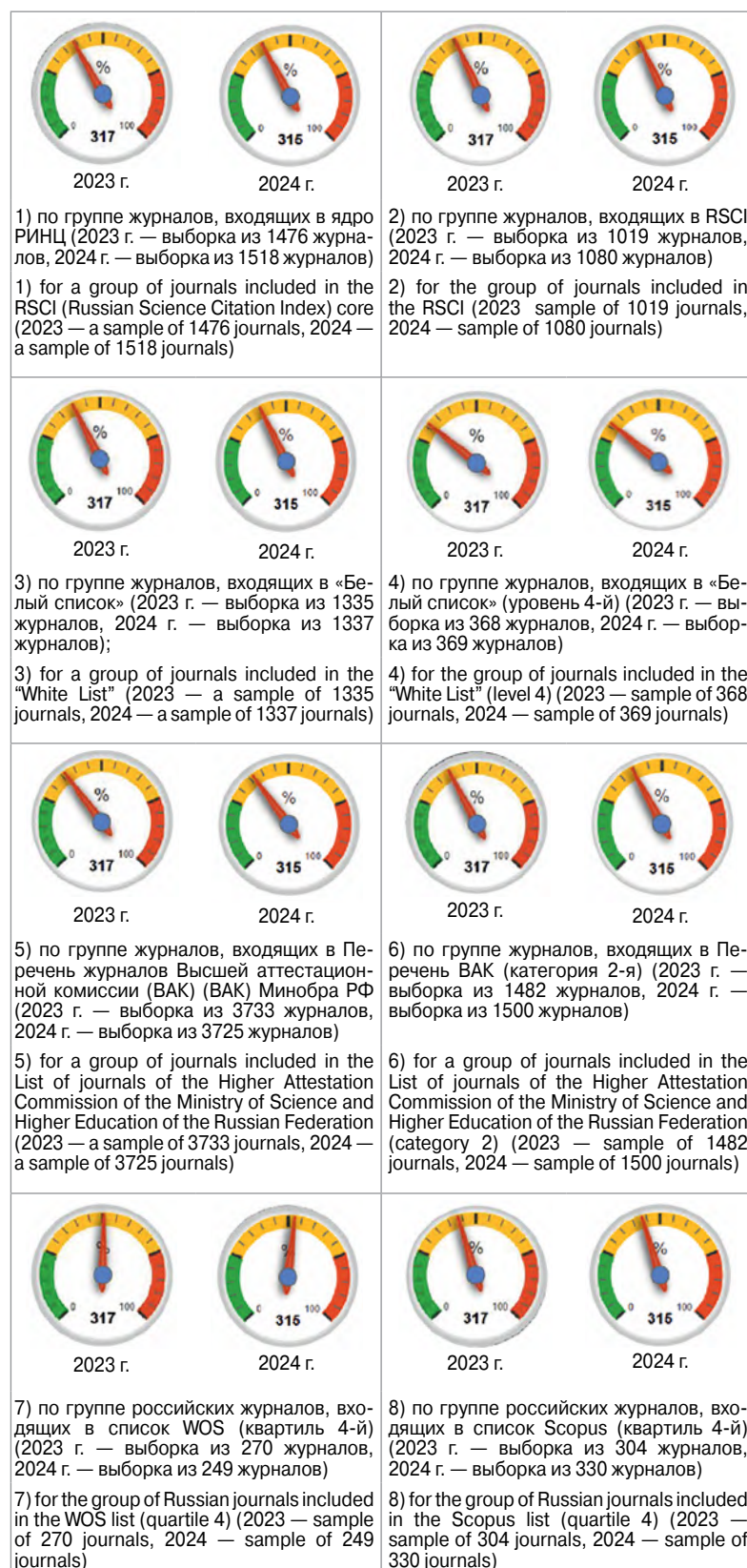
Показатели публикационной активности журнала «Аграрная наука» могут быть сопоставлены с соответствующими значениями показателей других журналов в пределах выбранной референтной группы. Все журналы из референтной группы сортируются в порядке улучшения соответствующего показателя. Место данного журнала в этой последовательности отмечается стрелкой (на стрелочных индикаторах). Шкалы индикаторов поделены на четыре равные зоны (на стрелочных — красным, желтым и зеленым цветами).

Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журналам» на стрелочных индикаторах представлен на рисунке 2.

Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журналам» в 2023 г. составлял 317, в 2024-м — 315.

Рейтинг показателя «Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журналам» и его ранжирование по зонам и качественным значениям стрелочных индикаторов представлены в таблице 2.

Рис. 2. Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журналам» на стрелочных индикаторах
Fig. 2. The Agrarian Science journal's performance in the Herfindahl Five-Year Index of Citing Journals, based on arrow indicators



⁷ Максимальное значение равно 10 тыс. и достигается, когда все ссылки сделаны из одного журнала.

⁸ Максимальное значение равно 10 тыс. и достигается, когда в журнале публикуются авторы только из одной организации.

Таблица 2. Рейтинг показателя «Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журналам»

Table 2. Ranking of the “Five-Year Herfindahl Index for Citing Journals” indicator

Референтная группа	2023 г.		2024 г.		Изменения (в сравнении значений 2023 и 2024 гг.)
	номер зоны	цвет зоны	номер зоны	цвет зоны	
1) по группе журналов, входящих в ядро РИНЦ	2	●	2	●	=
2) по группе журналов, входящих в RSCI	2	●	2	●	=
3) по группе журналов, входящих в «Белый список»	2	●	2	●	=
4) по группе журналов, входящих в «Белый список» (уровень 4-й)	2	●	2	●	=
5) по группе журналов, входящих в Перечень журналов ВАК	2	●	2	●	=
6) по группе журналов, входящих в Перечень ВАК (категория 2-я)	2	●	2	●	=
7) по группе российских журналов, входящих в список WOS ⁹ (квартиль 4-й)	2	●	2	●	=
8) по группе российских журналов, входящих в список Scopus ¹⁰ (квартиль 4-й)	2	●	2	●	=

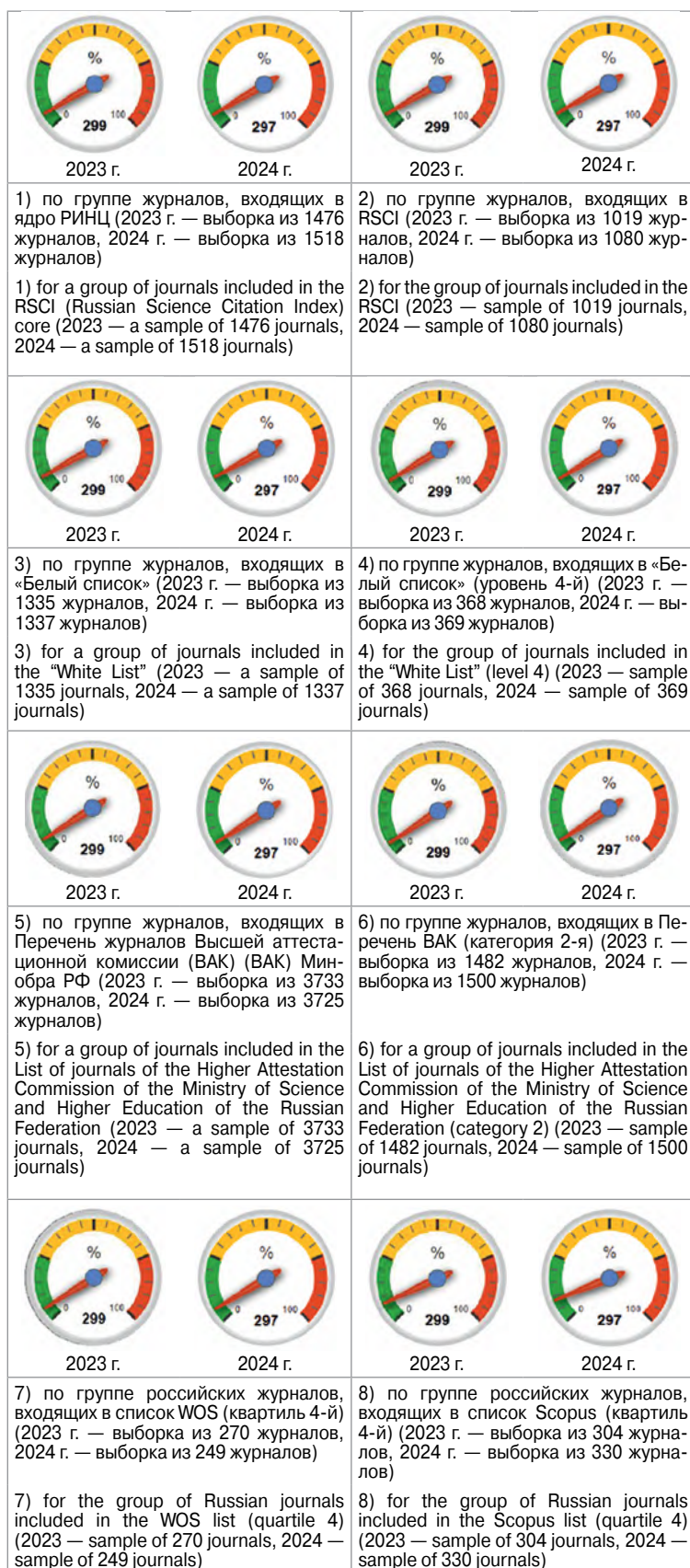
Примечание: = позиция без сильных изменений.

Отмечаем, что в 2024 г. журнал находится в средней (первой желтой) зоне по всем группам журналов, представленных на рисунке 2, и соответствует рекомендациям РИНЦ, ВАК, ФГБУ «Российский центр научной информации», WOS, Scopus. Входит в число 50% журналов по каждой референтной группе.

Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Индекс Херфиндаля — Хиршмана по организациям авторов» на стрелочных индикаторах представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Индекс Херфиндаля — Хиршмана по организациям авторов» на стрелочных индикаторах

Fig. 3. The Herfindahl — Hirschman Index ranking for the journal “Agrarian science” based on the arrow indicators



⁹ Журнал «Аграрная наука» не входит в список WOS.

¹⁰ Журнал «Аграрная наука» не входит в список Scopus.

Таблица 3. Рейтинг «Индекс Херфиндаля — Хиршмана по организациям авторов»

Table 3. Herfindahl — Hirschman Index rating by authors' organizations

Референтная группа	2023 г.		2024 г.		Изменения (в сравнении значений 2023 и 2024 гг.)
	номер зоны	цвет зоны	номер зоны	цвет зоны	
1) по группе журналов, входящих в ядро РИНЦ	1		1		
2) по группе журналов, входящих в RSCI	1		1		
3) по группе журналов, входящих в «Белый список»	1		1		
4) по группе журналов, входящих в «Белый список» (уровень 4-й)	1		1		
5) по группе журналов, входящих в Перечень журналов ВАК	1		1		
6) по группе журналов, входящих в Перечень ВАК (категория 2-я)	1		1		
7) по группе российских журналов, входящих в список WOS ⁹ (квартиль 4-й)	1		1		
8) по группе российских журналов, входящих в список Scopus ¹⁰ (квартиль 4-й)	1		1		

Примечание:  позиция без сильных изменений.

Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Индекс Херфиндаля — Хиршмана по организациям авторов» составлял в 2023 г. 299, в 2024-м — 297. Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Индекс Херфиндаля — Хиршмана по организациям авторов» и его ранжирование по зонам и качественным значениям стрелочных индикаторов представлены в таблице 3.

Отмечаем, что журнал находится в наилучшей (зеленой) зоне по всем группам журналов, представленных на рисунке 3 и в таблице 3, и соответствует рекомендациям РИНЦ, ВАК, ФГБУ «Российский центр научной информации», WOS, Scopus. Журнал «Аграрная наука» входит в число лучших 25% журналов по каждой референтной группе.

Инфографика по пятилетнему коэффициенту самоцитирования¹¹ журнала «Аграрная наука» представлена на рисунке 4.

Наилучшие результаты по показателю «пятилетний коэффициент самоцитирования» у журнала «Аграрная наука» зафиксированы в 2012 г. — 0 ссылок. В 2022 г. и 2023 г. этот коэффициент составил 14, что является ниже среднего показателя по референтным группам, в 2024-м коэффициент поднялся на 7 пунктов — 21 (подтверждается инфографикой, представленной на рисунке 5).

Таблица 4. Рейтинг «Пятилетний коэффициент самоцитирования»

Table 4. Five-year self-citation coefficient rating

Референтная группа	2023 г.		2024 г.		Изменения (в сравнении значений 2023 и 2024 гг.)
	номер зоны	цвет зоны	номер зоны	цвет зоны	
1) по группе журналов, входящих в ядро РИНЦ	3		3		
2) по группе журналов, входящих в RSCI	3		3		
3) по группе журналов, входящих в «Белый список»	3		3		
4) по группе журналов, входящих в «Белый список» (уровень 4-й)	3		3		
5) по группе журналов, входящих в Перечень журналов ВАК	3		3		
6) по группе журналов, входящих в Перечень ВАК (категория 2-я)	3		3		
7) по группе российских журналов, входящих в список WOS ⁹ (квартиль 4-й)	3		3		
8) по группе российских журналов, входящих в список Scopus ¹⁰ (квартиль 4-й)	3		3		

Примечание:  позиция без сильных изменений.

Рис. 4. Пятилетний коэффициент самоцитирования

Fig. 4. Five-year self-citation coefficient



Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Пятилетний коэффициент самоцитирования» на стрелочных индикаторах представлен на рисунке 5.

Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Пятилетний коэффициент самоцитирования» составлял 14,80 в 2023 г., в 2024-м — 14,70. Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Пятилетний коэффициент самоцитирования» и его ранжирование по зонам и качественным значениям стрелочных индикаторов представлены в таблице 4.

¹¹ Доля ссылок журнала на самого себя среди всех ссылок, сделанных в текущем году на выпуски этого журнала за 5 предыдущих лет.

Рис. 5. Показатель журнала в рейтинге «Пятилетний коэффициент самоцитирования» на стрелочных индикаторах

Fig. 5. The journal's performance in the Five-Year Self-Citation Rate ranking on Arrow indicators

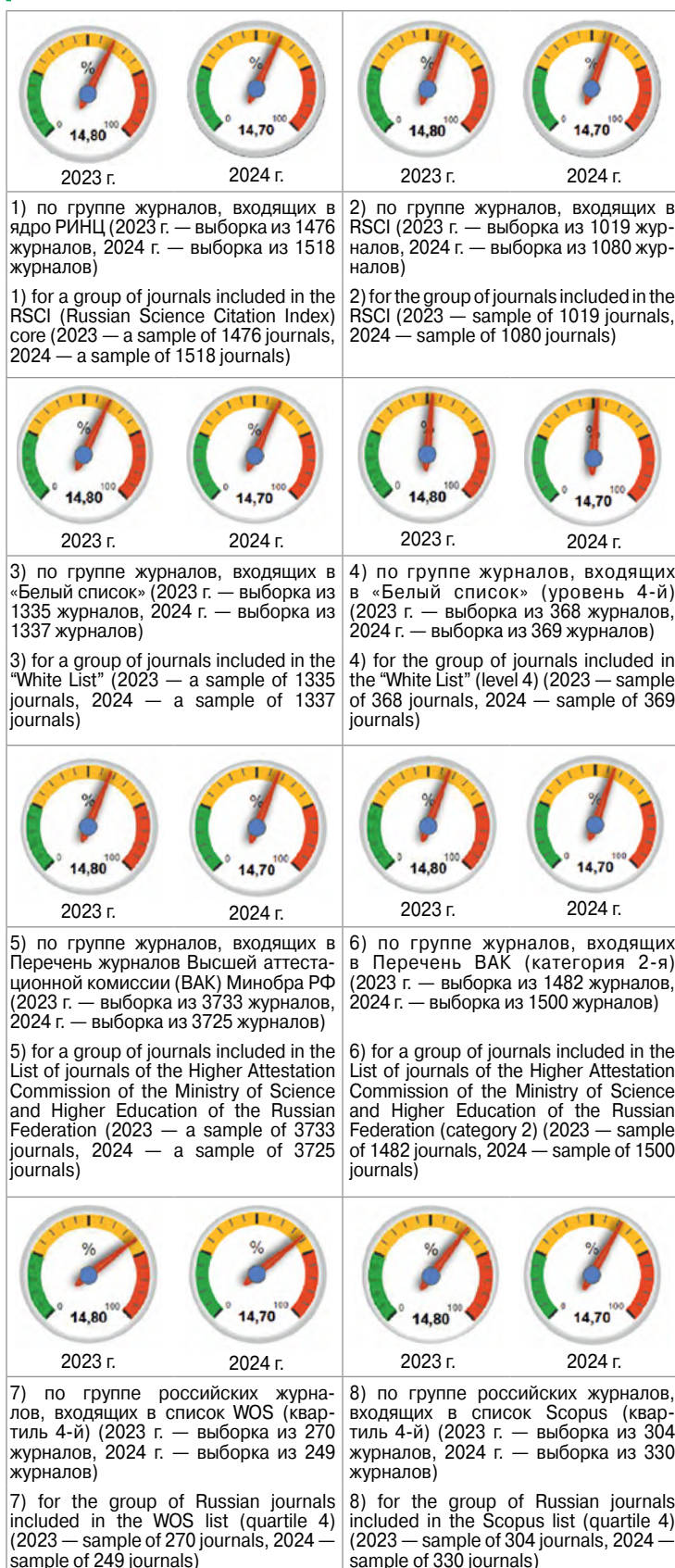


Рис. 6. Индекс Джини

Fig. 6. Gini index

Примечание: скользящее среднее за 3 года.



Отмечаем, что журнал находится во второй части средней (во второй желтой или третьей) зоны по всем группам журналов, представленных на рисунке 3. Этот показатель нуждается в контроле со стороны редакции). На рисунке 6 представлена инфографика индекса Джини¹².

Представленная информация (рис. 6) говорит о достаточно устойчивом положении данного показателя, но более подробно представлена информация на рисунке 7 и в таблице 5.

По данным¹³ журнала, в рейтинге «Индекс Джини» на стрелочных индикаторах представлен на рисунке 7.

Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Индекс Джини» составлял 0,70 в 2023 г., в 2024-м — 0,66. Показатель журнала «Аграрная наука» в рейтинге «Индекс Джини» и его ранжирование по зонам и качественным значениям стрелочных индикаторов представлены в таблице 4.

Отмечаем, что журнал находится в первой части средней (первой желтой) зоны по всем группам журналов, представленных на рисунке 7, и соответствует рекомендациям РИНЦ, ВАК, ФГБУ «Российский центр научной информации», WOS, Scopus. Этот показатель нуждается в контроле со стороны редакции.

Выводы/Conclusions

На заседании редакционного совета рассмотрен анализ ранжирования и публикационной активности журнала за 2023–2024 гг. Для максимального использования результатов проведенного анализа была разработана стратегия, направленная на дальнейшее

¹² Индекс Джини отражает степень неравномерности распределения статей в журнале по числу их цитирований. Может принимать значения от 0 до 1. Нулевое значение индекса соответствует ситуации, когда все статьи в журнале за год получили одинаковое количество цитирований.

¹³ https://elibrary.ru/title_infographics.asp?id=8384

Рис. 7. Показатель журнала в рейтинге «Индекс Джини» на стрелочных индикаторах

Fig. 7. Journal indicator in the Gini Index ranking on arrow indicators

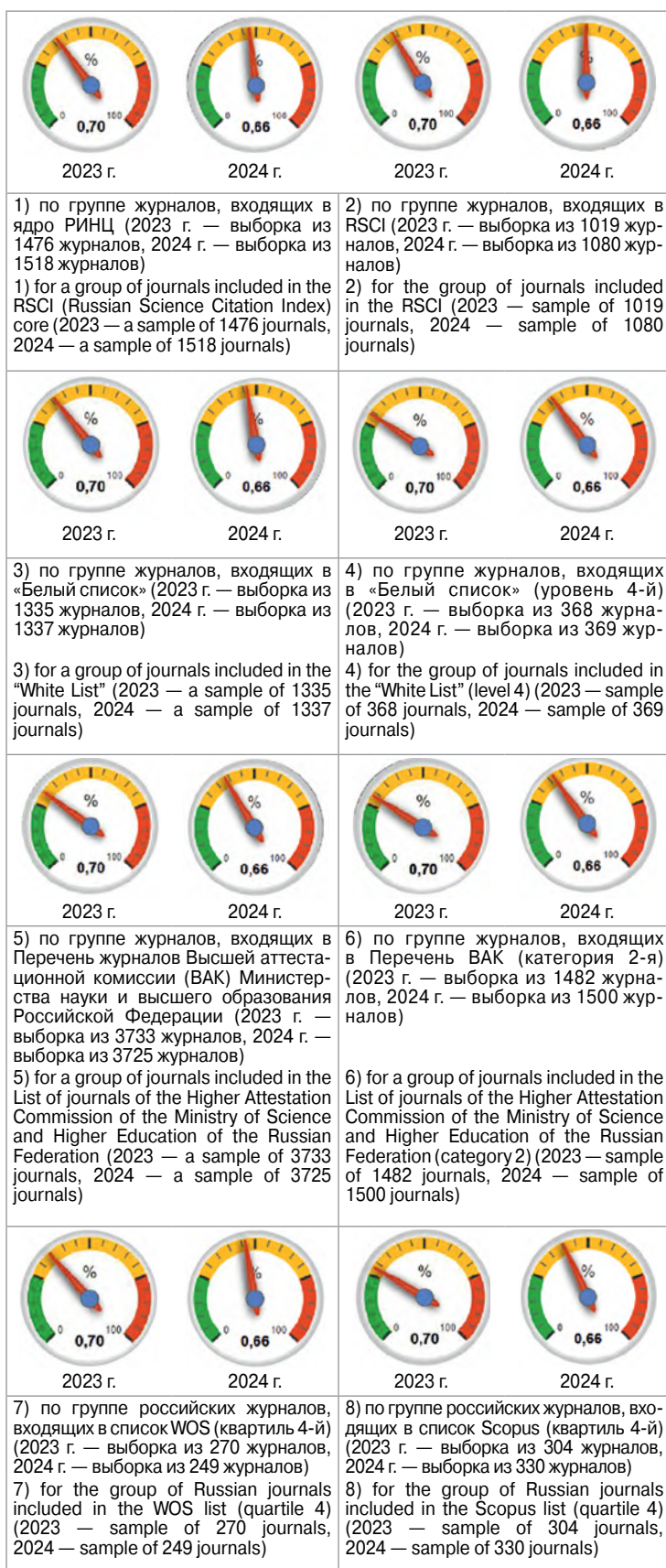


Таблица 4. Рейтинг «Индекс Джини»

Table 4. Gini index rating

Референтная группа	2023 г.		2024 г.		Изменения (в сравнении значений 2023 и 2024 гг.)
	номер зоны	цвет зоны	номер зоны	цвет зоны	
1) по группе журналов, входящих в ядро РИНЦ	2	●	2	●	→
2) по группе журналов, входящих в RSCC	2	●	3	●	→
3) по группе журналов, входящих в «Белый список»	2	●	2	●	→
4) по группе журналов, входящих в «Белый список» (уровень 4-й)	2	●	2	●	→
5) по группе журналов, входящих в Перечень журналов ВАК	2	●	2	●	→
6) по группе журналов, входящих в Перечень ВАК (категория 2-я)	2	●	2	●	→
7) по группе российских журналов, входящих в список WOS ⁹ (квартиль 4-й)	2	●	2	●	→
8) по группе российских журналов, входящих в список Scopus ¹⁰ (квартиль 4-й)	2	●	2	●	→

Примечание: → позиция ухудшилась.

улучшение наукометрических показателей журнала «Аграрная наука». Разработанная стратегия нацелена на ключевые факторы роста:

- ✓ модернизацию редакционного управления,
- ✓ активное привлечение публикаций от ведущих исследователей с высоким impact-фактором,
- ✓ согласованные усилия по увеличению глобального охвата перспективных научных исследований,
- ✓ расширение географического ландшафта организаций, публикующих свои исследования в журнале «Аграрная наука».

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. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 1-я). *Аграрная наука*. 2025; (4): 22–27. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27>
2. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 2-я). *Аграрная наука*. 2025; (5): 25–30. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30>
3. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 3-я). *Аграрная наука*. 2025; (6): 34–39. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39>
4. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 4-я). *Аграрная наука*. 2025; (7): 8–13. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13>
5. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 5-я). *Аграрная наука*. 2025; (8): 8–12. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12>
6. Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М. Публикационная активность в инфографике (часть 6-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 и 2024 гг.). *Аграрная наука*. 2025; (11): 8–14. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-14>
7. Kang H. Journal Metrics and Statistics. *Journal of Lipid and Atherosclerosis*. 2023; 12(1): 87. <https://doi.org/10.12997/jla.2023.12.1.87>
8. Нуридин Я.А., Богданова Ю.З. Дискуссионный вопрос о необходимости наукометрических показателей. *Стратегические ресурсы тюменского АПК: люди, наука, технологии. Сборник трудов LVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2024; 96–100. <https://elibrary.ru/ckdsos>
9. Эрштейн Л.Б. Проблемы наукометрии: индекс максимально цитируемой публикации как средство решения некоторых из них. *Alma Mater (Вестник высшей школы)*. 2023; (9): 23–28. <https://doi.org/10.20339/AM.09-23.023>
10. Цветкова В.А., Мохначева Ю.В. Научная среда и публикационная активность: риски библиометрических оценок. *Культура: теория и практика*. 2020; (2): 11. <https://elibrary.ru/dooofr>
11. Елизаров А.М., Писляков В.В. Журнальный импакт-фактор: математические и статистические свойства. *Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки*. 2024; 166(4): 485–498. <http://doi.org/10.26907/2541-7746.2024.4.485-498>

ОБ АВТОРАХ

Максим Борисович Ребезов^{1,2}

• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник¹;
• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов²
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Борис Викторович Виолин³

кандидат ветеринарных наук
agrovetpress@inbox.ru

Ярослав Максимович Ребезов⁴

кандидат биологических наук, научный сотрудник сектора прикладной биотехнологии учебно-научной исследовательской лаборатория Химико-технологического института
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

¹Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

²Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.П. Коваленко Российской академии наук», Звенигородское шоссе, 5, Москва, 123022, Россия

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

REFERENCES

1. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 1). *Agrarian science*. 2025; (4): 22–27 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27>
2. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 2). *Agrarian science*. 2025; (5): 25–30 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30>
3. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 3). *Agrarian science*. 2025; (6): 34–39 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39>
4. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 4). *Agrarian science*. 2025; (7): 8–13 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13>
5. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 5). *Agrarian science*. 2025; (8): 8–12 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12>
6. Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M. Publication activity in infographics (Part 6): comparative analysis over a two-year period (2023 and 2024). *Agrarian science*. 2025; (11): 8–14 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-14>
7. Kang H. Journal Metrics and Statistics. *Journal of Lipid and Atherosclerosis*. 2023; 12(1): 87. <https://doi.org/10.12997/jla.2023.12.1.87>
8. Nuriddinov Ya.A., Bogdanova Yu.Z. The debatable issue of the need for scientometric indicators. *Strategic resources of the Tyumen agro-industrial complex: people, science, technology. Collection of works of the LVII International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists*. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agriculural University. 2024; 96–100 (in Russian). <https://elibrary.ru/ckdsos>
9. Ershteyn L.B. Problems of scientometrics: maximum cited publication index as a means of solving some of them. *Alma Mater (Vestnik vysshey shkoly)*. 2023; (9): 23–28 (in Russian). <https://doi.org/10.20339/AM.09-23.023>
10. 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). <https://elibrary.ru/dooofr>
11. Elizarov A.M., Pislyakov V.V. Journal impact factor: Mathematical and statistical properties. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki*. 2024; 166(4): 485–498 (in Russian). <http://doi.org/10.26907/2541-7746.2024.4.485-498>

ABOUT THE AUTHORS

Maksim Borisovich Rebezov^{1,2}

• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher¹;
• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products²
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Boris Viktorovich Violin³

Candidate of Veterinary Sciences
agrovetpress@inbox.ru

Yaroslav Maksimovich Rebezov⁴

Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Applied Biotechnology Sector of the Educational and Scientific Research Laboratory of the Institute of Chemical Technology
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

¹Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

²Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia

³All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology — a branch of the of the Federal Scientific Centre VIEV, 5 Zvenigorodskoe shosse, Moscow, 123022, Russia

⁴Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,

41 Bolshaya Sankt-Peterburgskaya Str., Veliky Novgorod, 173003, Russia

УДК 619:579.62:579.832/.833:619:634.4

Краткое сообщение



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-16-21

А.В. Капустин

П.Н. Шастин ✉

В.А. Савинов

А.В. Супова

И.В. Полякова

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

✉ shastin.pasha@yandex.ru

Поступила в редакцию: 10.10.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Капустин А.В., Шастин П.Н.,
Савинов В.А., Супова А.В.,
Самылина И.В., Полякова И.В.

Short communications



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-16-21

Andrey V. Kapustin

Pavel N. Shastin ✉

Vasily A. Savinov

Anastasia V. Supova

Irina V. Polyakova

Federal Scientific Center VIEV,
Moscow, Russia

✉ evgeniy251082@mail.ru

Received by the editorial office: 10.10.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Kapustin A.V., Shastin P.N., Savinov V.A.,
Supova A.V., Polyakova I.V.

Мониторинг распространенности и патогенных свойств видов *Clostridium* у сельскохозяйственных животных и птиц в Российской Федерации

РЕЗЮМЕ

Представлены результаты мониторинговых исследований на анаэробные микроорганизмы, а именно клостридии. За пятилетний период получены результаты на основании 6372 проанализированных образцов патологоанатомического материала (печень, кишечник, желудок, легкие, мышечная ткань, селезенка, сердце) от птиц, свиней, крупного рогатого скота рутинными микробиологическими методами из таких регионов России, как Орловская, Тверская, Новгородская, Нижегородская, Московская, Калужская, Челябинская, Пензенская, Тамбовская, Волгоградская, Кемеровская, Рязанская, Новосибирская, Оренбургская, Ярославская, Воронежская, Ленинградская, Свердловская, Ростовская, Тюменская, Липецкая, Томская, Владимирская, Омская, Белгородская области, республики Северная Осетия — Алания, Башкортостан, Татарстан, Чувашия, Мордовия, Бурятия, Пермский, Алтайский, Краснодарский, Ставропольский края, г. Москва. В результате получены 1060 изолятов клостридии. Согласно полученным данным, инцидентность *Clostridium tertium* составила 29,15%, *Clostridium perfringens* — 25,85%, *Clostridium sporogenes* — 11,89%, *Paraclostridium bifermentans* — 8,58%, *Clostridium butyricum* — 4,53%, *Clostridium paraputrificum* — 3,96%, *Clostridium difficile* — 3,02%, *Clostridium cadaveris* — 2,92%, *Paeniclostridium sordelli* — 2,26%, *Clostridium novyi* — 1,89%, *Clostridium chauvoei* — 1,42%, *Clostridium sartagoforme* и *Clostridium spp.* — 1,04%, *Clostridium septicum* и *Clostridium baratii* — 0,66%, *Clostridium cochlearium* — 0,57%, *Clostridium ramosum* — 0,28%, *Clostridium sphenoides* — 0,19%, *Clostridium innocuum* — 0,09%, патогенными свойствами из которых обладали 165 изоляты: 126 — *Clostridium perfringens*, 22 — *Clostridium difficile*, 7 — *Clostridium novyi*, 6 — *Clostridium chauvoei*, 3 — *Clostridium septicum*, 1 — *Clostridium spp.*; токсигенные свойства установлены у 105 изолятов: 84 — *Clostridium perfringens*, 11 — *Clostridium novyi*, 6 — *Paeniclostridium sordelli*, 2 — *Clostridium septicum*, 1 — *Clostridium difficile*, 1 — *Clostridium spp.*

Ключевые слова: клостридии, анаэробы, мониторинг, биобезопасность, животные, патогенность, токсигенность

Для цитирования: Капустин А.В., Шастин П.Н., Савинов В.А. Супова А.В., Полякова И.В. Мониторинг распространенности и патогенных свойств видов *Clostridium* у сельскохозяйственных животных и птиц в Российской Федерации. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 16–21.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-16-21>

Monitoring of the prevalence and pathogenic properties of *Clostridium* species in farm animals and birds in the Russian Federation

ABSTRACT

This paper presents the results of monitoring studies on anaerobic microorganisms, namely clostridia. Over a five-year period, 6372 samples of birds, pigs, and cattle (liver, intestines, stomach, lungs, muscle tissue, spleen, and heart) were examined using routine microbiological methods from such regions of Russia as Oryol, Tver, Novgorod, Nizhny Novgorod, Moscow, Kaluga, Chelyabinsk, Penza, Tambov, Volgograd, Kemerovo, Ryazan, Novosibirsk, Orenburg, Yaroslavl, Voronezh, Leningrad, Sverdlovsk, Rostov, Tyumen, Lipetsk, Tomsk, Vladimir, Omsk, Belgorod regions, Republics of North Ossetia — Alania, Bashkortostan, Tatarstan, Chuvashia, Mordovia, Buryatia, Perm, Altai, Krasnodar, Stavropol Territory, Moscow. As a result, 1060 clostridia isolates were obtained. According to the data obtained, the incidence of *Clostridium tertium* was 29.15%, *Clostridium perfringens* — 25.85%, *Clostridium sporogenes* — 11.89%, *Paraclostridium bifermentans* — 8.58%, *Clostridium butyricum* — 4.53%, *Clostridium paraputrificum* — 3.96%, *Clostridium difficile* — 3.02%, *Clostridium cadaveris* — 2.92%, *Paeniclostridium sordelli* — 2.26%, *Clostridium novyi* — 1.89%, *Clostridium chauvoei* — 1.42%, *Clostridium sartagoforme* and *Clostridium spp.* — 1.04%, *Clostridium septicum* and *Clostridium baratii* — 0.66%, *Clostridium cochlearium* — 0.57%, *Clostridium ramosum* — 0.28%, *Clostridium sphenoides* — 0.19%, *Clostridium innocuum* — 0.09%. Pathogenic properties were found in 165 isolates: 126 — *Clostridium perfringens*, 22 — *Clostridium difficile*, 7 — *Clostridium novyi*, 6 — *Clostridium chauvoei*, 3 — *Clostridium septicum*, 1 — *Clostridium spp.*; toxigenic properties were found in 105 isolates: 84 — *Clostridium perfringens*, 11 — *Clostridium novyi*, 6 — *Paeniclostridium sordelli*, 2 — *Clostridium septicum*, 1 — *Clostridium difficile*, 1 — *Clostridium spp.*

Key words: clostridia, anaerobes, monitoring, biosafety, animals, pathogenicity, toxigenicity

For citation: Kapustin A.V., Shastin P.N., Savinov V.A., Supova A.V., Polyakova I.V. Monitoring of the prevalence and pathogenic properties of *Clostridium* species in farm animals and birds in the Russian Federation. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 16–21 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-16-21>

Введение/Introduction

Инфекционные болезни продуктивных животных причиняют сельскому хозяйству значительный ущерб [1–3]. Здесь стоит выделить болезни анаэробной этиологии в связи с их широким распространением, опасностью для животных и человека, высокой токсичностью возбудителей. Для нормальной жизнедеятельности, поддержания здоровья, репродукции и высокой продуктивности животные должны быть обеспечены оптимальными условиями содержания, сбалансированным рационом, моционом, соответствующим микроклиматом [4–8].

Интенсификация животноводства ведет к серьезным изменениям физиологических параметров организма животных. Нарушение условий содержания, несбалансированное и (или) некачественное кормление высокопродуктивного скота способствуют возникновению болезней, ранее нехарактерных для этого вида животных [9–11]. У животных и птиц неполноценное и несбалансированное кормление вызывает патологии обмена веществ, болезни органов желудочно-кишечного тракта, опорно-двигательного аппарата, которые зачастую осложняются различными инфекциями, особенно часто анаэробными микроорганизмами видов *Cl. perfringens*, *Cl. septicum*, *Cl. novyi*, *Cl. sordellii*, в связи с их широким распространением [12].

Клостридии (*Clostridium spp.*) являются грамположительными, строго или факультативно анаэробными, спорообразующими бактериями семейства *Clostridiaceae* порядка *Eubacteriales*. Большинство клостридии — облигатные анаэро-

бы, чувствительны к кислороду в вегетативной фазе, при этом особо устойчивы к дезинфектантам, нагреванию, ультрафиолетовому облучению и могут длительно сохраняться в почве. Широко распространены в окружающей среде и в то же самое время являются частью нормальной микрофлоры кишечника многих животных и птиц.

Клостридиозы возникают при нарушении условий содержания, кормления, снижении иммунитета. При этом клостридии активно вырабатывают токсины, приводящие к развитию заболевания и возможной гибели. Патогенность клостридии в первую очередь связана с их способностью продуцировать сильнейшие экзотоксины. Благодаря продуцированию различных токсинов (альфа — CPA, бета — CPB, эпсилон — ETX, йота — ITX, энтеротоксин — CPE, некротические — NeB, NetF) и ферментов (коллагеназы, липазы, протеазы) клостридии высоковирулентны. Например, существуют 8 серотипов ботулинистического нейротоксина (BoNT) (A–H) [13]. У *Cl. difficile* может происходить нуклеотидная вариация в области генома (локус патогенности (PaLoc), что оказывает влияние на вирулентность штаммов [14].

Некоторые токсины могут вырабатываться несколькими видами клостридии. *Cl. baratii* может вырабатывать BoNT типа F, как и *Cl. botulinum* группы I и II, в то время как *Cl. butyricum* может вырабатывать BoNT типа E, и все они в совокупности называются клостридиями, вырабатывающими ботулотоксин (BTPC) [15].

Наиболее распространенные клостридиозы животных и птиц представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика возбудителей клостридиозов животных и птиц [16, 17]

Table 1. Characteristics of the causative agents of clostridiosis in animals and birds [16, 17]

№ п/п	Наименование болезни	Возбудитель	Краткий патогенез	Клинические признаки
1	Ботулизм	<i>Clostridium botulinum</i> , продуцирует нейротоксин (ботулотоксин), один из сильнейших известных ядов	Заражение происходит при поедании кормов, содержащих готовый токсин (испорченный силос, гниющее сено, трупы грызунов в корме, туши павших животных в водоемах).	Животные (крупный рогатый скот, лошади): мышечная слабость, параличи глотки, языка, конечностей. Животное не может жевать и глотать, стоит с опущенной головой. Смерть наступает от паралича дыхательной мускулатуры. Птицы (бройлеры, утки, фазаны): «Шейная слабость» («лимбернек») — паралич мышц шеи, крыльев, ног. Перья легко выдергиваются.
2	Столбняк	<i>Clostridium tetani</i> , продуцирует тетаноспазм (нейротоксин)	Попадает в организм через глубокие раны, колотые повреждения, места кастрации, где создаются анаэробные условия.	Животные (лошади, мелкий рогатый скот): повышенная чувствительность к звуку, свету, судорожные сокращения мышц. Характерная поза: «стойка на носках», вытянутый хвост, сакроиды ушные раковины, затрудненное жевание («тризм»). Смерть от асфиксии.
3	Злокачественный отек (газовая инфекция)	Чаще <i>Cl. erfringens</i> , <i>Cl. septicum</i> , <i>Cl. novyi</i>	Заражение через раны, после родов, при неудачных инъекциях.	Быстро развивающийся отек в области раны, крепитация (хруст) при пальпации из-за образования газа, угнетение, лихорадка, быстрая гибель.
4	Энтеротоксемия	<i>Cl. perfringens</i> типов A, B, C, D и E	Инфекционная энтеротоксемия овец («болезнь перекармливания»): вызывается <i>Cl. perfringens</i> типа D. Связана с резким изменением рациона (обилие концентратов, сочного молодого клевера). Геморрагический энтерит телят и ягнят: вызывается <i>Cl. perfringens</i> типа C. : <i>Cl. septicum</i> .	Инфекционная энтеротоксемия овец протекает молниеносно: судороги, диарея, гибель в течение нескольких часов. Геморрагический энтерит телят и ягнят: кровавый понос, сильная депрессия, высокая летальность.
5	Некротический энтерит (<i>Necrotic Enteritis</i>)	<i>Cl. perfringens</i> типа A (реже C)	Резкая смена корма, высокобелковый рацион. Корма с высоким содержанием пшеницы, ячменя, ржи. Плохое качество подстилки, высокая влажность.	Внезапный всплеск падежа. У птицы угнетение, взъерошенность перьев, диарея, снижение потребления корма и воды. При подострой (хронической) форме: снижение веса, плохая конверсия корма, но падеж может быть невысоким.

Клостридиозы представляют собой серьезную экономическую угрозу для животноводства и птицеводства из-за высокой летальности, снижения продуктивности и затрат на лечение. Успешное предотвращение клостридиозов возможно при комплексном подходе, включающем в себя санитарно-гигиенические мероприятия, соблюдение сбалансированного кормления, плановой вакцинопрофилактики. Основным методом профилактики клостридиозов остается вакцинация. Это особенно актуально на фоне роста устойчивости патогенов к противомикробным препаратам [18].

Помимо специфической профилактики, доказана эффективность среднепочечных жирных кислот и триглицеридов, механизм которых обусловлен нарушением целостности клеточной стенки бактерий [19]; имеются многочисленные исследования антимикробных свойств пептидов [20], растительных экстрактов, эфирных масел [21].

Важным аспектом становится подбор актуальных штаммов, способных вызывать длительный эффективный иммунитет, который невозможен без проведения мониторинговых исследований знаний о том, какой токсин вырабатывает тот или иной штамм, так как изоляты клостридии отличаются по предпочтениям роста и географическому распространению [22, 23].

Цель данной работы — провести мониторинговые исследования в 2021–2025 гг. по выявлению и идентификации клостридии среди птиц, свиней и крупного рогатого скота на территории Российской Федерации.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работа была выполнена на базе лаборатории диагностики и контроля антибиотикорезистентности возбудителей наиболее клинически значимых инфекционных болезней животных ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук»» (Россия).

Патологоанатомический материал в количестве 6372 образцов в 2021–2025 гг. (легкие, сердце, печень, мышечная ткань, желудочно-кишечный тракт, почка, селезенка) поступал с птицеводческих, свиноводческих и скотоводческих хозяйств следующих регионов России, представленных в таблице 2.

Бактериологические исследования патматериала проводили рутинными бактериологическими методами¹. Для видовой идентификации

Таблица 2. Субъекты Российской Федерации, из которых поступил патологоанатомический материал

Table 2. Subjects of the Russian Federation from which pathological anatomical material was received

Субъекты Российской Федерации			
республика	край	область	город федерального значения
Башкортостан	Алтайский	Белгородская	Москва
Бурятия	Краснодарский	Владимирская	–
Мордовия	Пермский	Волгоградская	–
Северная Осетия — Алания	Ставропольский	Воронежская	–
Татарстан	–	Калужская	–
Чувашия	–	Кемеровская	–
–	–	Ленинградская	–
–	–	Липецкая	–
–	–	Московская	–
–	–	Нижегородская	–
–	–	Новгородская	–
–	–	Новосибирская	–
–	–	Омская	–
–	–	Оренбургская	–
–	–	Орловская	–
–	–	Пензенская	–
–	–	Ростовская	–
–	–	Рязанская	–
–	–	Свердловская	–
–	–	Тамбовская	–
–	–	Тверская	–
–	–	Томская	–
–	–	Тюменская	–
–	–	Челябинская	–
–	–	Ярославская	–

возбудителя использовали масс-спектрометрический анализ MALDI-ToF (Bruker Daltonics Inc., США) согласно методическим рекомендациям². Патогенные и токсигенные свойства изолятов клостридии изучали на SPF лабораторных животных с использованием стандартной методики подкожного, внутримышечного и (или) внутрибрюшинного инъектирования суточной живой культуры возбудителя³ с соблюдением этических норм работы с лабораторными животными⁴.

Используемые питательные среды были приготовлены согласно инструкции производителей (HiMediaLabs, Индия).

Обработку статистических данных проводили с использованием вариативных методик анализа в программе Microsoft Excel (США).

¹ ГОСТ 26503-85 Животные сельскохозяйственные. Методы лабораторной диагностики клостридиозов.

² ГОСТ 4.2.0089-14 Использование метода времяпролетной масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией (ионизацией) (MALDI-ToF MS) для индикации и идентификации возбудителей I-II групп патогенности.

³ ГОСТ 26503-85 Животные сельскохозяйственные. Методы лабораторной диагностики клостридиозов.

⁴ Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS No. 123) [рус., англ.]. Страсбург. 18.03.1986.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На основании полученных данных, отображенных в таблице 3, была установлена следующая инцидентность клостридии.

Согласно полученным данным, наиболее распространенными были следующие виды клостридии: *Clostridium tertium* составила 29,15%, *Clostridium perfringens* — 25,85%, *Clostridium sporogenes* — 11,89%, *Paraclostridium bifermentans* — 8,58% и т. д. Меньше 1% составили виды клостридии *Clostridium septicum* и *Clostridium baratii* — 0,66%, *Clostridium cochlearium* — 0,57%, *Clostridium ramosum* — 0,28%, *Clostridium sphenoides* — 0,19%, *Clostridium innocuum* — 0,09%.

Графическое изображение результатов патогенности и токсигенности представлены на рисунках 1, 2 соответственно.

Среди полученных изолятов установлены патогенные свойства у 165 изолятов клостридии: 126 — *Clostridium perfringens*, 22 — *Clostridium difficile*, 7 — *Clostridium novyi*, 6 — *Clostridium chauvoei*, 3 — *Clostridium septicum*, 1 — *Clostridium spp.* Токсигенные свойства выявлены у 105 изолятов: 84 — *Clostridium perfringens*, 11 — *Clostridium novyi*, 6 — *Paeniclostridium sordelli*, 2 — *Clostridium septicum*, 1 — *Clostridium difficile*, 1 — *Clostridium spp.*

Таблица 3. Результаты бактериологического исследования различных органов свиней, птиц и крупного рогатого скота

Table 3. Results of bacteriological examination of various organs of pigs, birds and cattle

Вид клостридии	% (n)
<i>Clostridium baratii</i>	0,66 (7)
<i>Clostridium butyricum</i>	4,53 (48)
<i>Clostridium cadaveris</i>	2,92 (31)
<i>Clostridium chauvoei</i>	1,42 (15)
<i>Clostridium cochlearium</i>	0,57 (6)
<i>Clostridium difficile</i>	3,02 (32)
<i>Clostridium innocuum</i>	0,09 (1)
<i>Clostridium novyi</i>	1,89 (20)
<i>Clostridium parapatrificum</i>	3,96 (42)
<i>Clostridium perfringens</i>	25,85 (274)
<i>Clostridium ramosum</i>	0,28 (3)
<i>Clostridium sartagoforme</i>	1,04 (11)
<i>Clostridium septicum</i>	0,66 (7)
<i>Clostridium sphenoides</i>	0,19 (2)
<i>Clostridium sporogenes</i>	11,89 (126)
<i>Clostridium spp.</i>	1,04 (11)
<i>Clostridium tertium</i>	29,15 (309)
<i>Paeniclostridium sordelli</i>	2,26 (24)
<i>Paraclostridium bifermentans</i>	8,58 (91)

Рис. 1. Процентный состав видов клостридии, обладающих патогенностью

Fig. 1. Percentage of clostridia species with pathogenicity

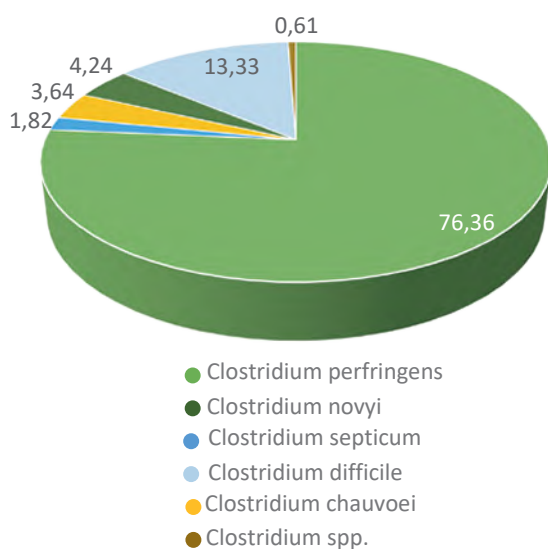
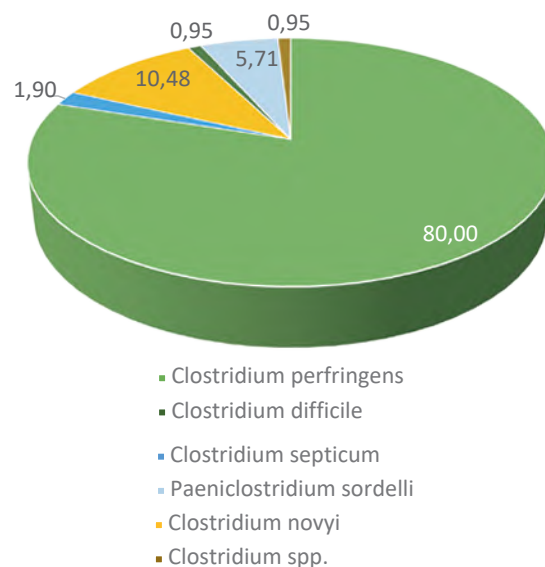


Рис. 2. Процентный состав видов клостридии, обладающих токсигенностью

Fig. 2. Percentage of clostridia species with toxicity



Выводы/Conclusions

Результаты, полученные в ходе исследования, позволили получить актуальную картину распространенности различных видов клостридии в России.

Важным нюансом является преобладание *Clostridium tertium* (29,15%), что, возможно, указывает на его недооцененную роль. Помимо

этого, отмечается превалирование *Clostridium perfringens* (25,85%), *Clostridium sporogenes* (11,89%), *Paraclostridium bifermentans* (8,58%), *Clostridium butyricum* (4,53%) и др. Полученные данные о циркулировании различных изолятов клостридии на территории России дополняют информацию об эпизоотической ситуации по клостридиозам.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FGUG-2025-0009).

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FGUG-2025-0009).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Микайлов М.М., Гунашев Ш.А., Хуболов А.Т., Карашаев М.Ф. Обеспечение устойчивого эпизоотического благополучия. *Проблемы взаимосвязи науки и экономики: особенности современного этапа. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. 2025; 383–387. <https://www.elibrary.ru/zinpyr>
2. M. Al-Maaqar S. *et al.* Identification of antibacterial agents against *Klebsiella pneumoniae* targeting the CTX-M-15 protein using integrated structure model-based virtual screening methods. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(2): e11876. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11876>
3. Бурков П.В., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Щербakov П.Н., Дерхо А.О. Патоморфологические особенности внутренних органов поросят при цирковиральной инфекции. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; 4(9): 98–111. [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4\(9\)_13](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4(9)_13)
4. Кузнецова Е.О., Лопалева Н.Л., Кузнецова Е.О. Моцион животных. *Современная аграрная наука: проблемы и пути решения. Сборник тезисов круглого стола в формате online*. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2020; 304–306. <https://www.elibrary.ru/flrrei>
5. Ганущенко О. Современные подходы к нормированию потребностей молочного скота в питательных веществах. *Ветеринарное дело (Минск)*. 2024; (11): 35–48. <https://www.elibrary.ru/awzcyo>
6. Барзанова Е.Н. Влияние вдыхаемого воздуха в помещении свиноводческого комплекса на фагоцитарную активность поросят в период откорма. *Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. Сборник IX Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием*. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос». 2024; 782–784. <https://www.elibrary.ru/csocwb>
7. Щербakov П.Н., Степанова К.В., Бурков П.В., Ребезов М.Б., Шнякина Т.Н., Барзанова Е.Н. Механизм подавления синтеза токсичных газов и опосредованное их влияние на жизненные показатели организма животных при адаптивных технологиях выращивания. *Аграрная наука*. 2023; (2): 49–53. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-49-53>
8. Белоокова О.В., Ребезов М.Б., Ленникова М.Г., Зяблицева М.А. Влияние зоогигиенических параметров на мясную продуктивность свиней. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; 4(9): 52–64. [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4\(9\)_8](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4(9)_8)
9. Мусаева А.К., Егорова Н.Н., Шакибаев Е., Озбекбай Н. Клостридиозы сельскохозяйственных животных. *Национальная ассоциация ученых*. 2022; 81: 6–14. <https://www.elibrary.ru/mjgijwh>
10. Супова А.В., Шастин П.Н., Лаишевцев А.И., Гильманов Х.Х., Ежова Е.Г. Видовое разнообразие клостридий у свиней в России. *Ветеринария*. 2025; (9): 21–27. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.21-27>
11. Шастин П.Н., Супова А.В., Лаишевцев А.И., Хабарова А.В., Фабрикантова Е.А. Клостридиозный профиль птицы. *Ветеринария и кормление*. 2025; (3): 112–115. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-3-24>
12. Шастин П.Н., Савинов В.А., Лаишевцев А.И., Мандрыка Е.Д., Фабрикантова Е.А., Супова А.В. Видовое разнообразие клостридий у крупного рогатого скота. *Ветеринария сегодня*. 2025; 14(2): 194–200. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-194-200>
13. Peck M.W. *et al.* Historical Perspectives and Guidelines for Botulinum Neurotoxin Subtype Nomenclature. *Toxins*. 2017; 9(1): 38. <https://doi.org/10.3390/toxins9010038>

REFERENCES

1. Mikailov M.M., Gunashev Sh.A., Khubolov A.T., Karashaev M.F. Ensuring sustainable epizootic well-being. *Problems of the relationship between science and economics: features of the current stage. Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference*. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2025; 383–387 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zinpyr>
2. M. Al-Maaqar S. *et al.* Identification of antibacterial agents against *Klebsiella pneumoniae* targeting the CTX-M-15 protein using integrated structure model-based virtual screening methods. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(2): e11876. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11876>
3. Burkov P.V., Derkho M.A., Rebezov M.B., Shcherbakov P.N., Derkho A.O. Pathomorphological features of internal organs of piglets with circovirus infection. *Bulletin of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary science and animal husbandry*. 2024; 4(9): 98–111 (in Russian). [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4\(9\)_13](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4(9)_13)
4. Kuznetsova E.O., Lopaeva N.L., Kuznetsova E.O. Animal Exercise. *Modern Agricultural Science: Problems and Solutions. Collection of Abstracts from the Round Table in Online Format*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2020; 304–306 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/flrrei>
5. Ganushchenko O. Modern Approaches to Standardizing the Nutrient Needs of Dairy Cattle. *Veterinary Science (Minsk)*. 2024; (11): 35–48 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/awzcyo>
6. Barzanova E.N. The influence of inhaled air in a pig-breeding complex on the phagocytic activity of piglets during the fattening period. *The role of agricultural science in sustainable development of rural areas. Proceedings of the IX All-Russian (national) scientific conference with international participation*. Novosibirsk: Zolotoy kolos. 2024; 782–784 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/csocwb>
7. Shcherbakov P.N., Stepanova K.V., Burkov P.V., Rebezov M.B., Shnyakina T.N., Barzanova E.N. The mechanism of suppression of the synthesis of toxic gases and their indirect effect on the vital parameters of animals under adaptive growing technologies. *Agrarian science*. 2023; (2): 49–53 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-49-53>
8. Belookova O.V., Rebezov M.B., Lennikova M.G., Zyablitsseva M.A. Influence of zoohygienic parameters on meat productivity of pigs. *Bulletin of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary science and animal husbandry*. 2024; 4(9): 52–64 (in Russian). [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4\(9\)_8](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4(9)_8)
9. Musayeva A.K., Egorova N.N., Shakibaev Y., Ozbekbai N. Clostridiosis of farm animals. *Natsional' naya assotsiatsiya uchenykh*. 2022; 81: 6–14 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mjgijwh>
10. Supova A.V., Shastin P.N., Laishetsev A.I., Gilmanov Kh.Kh., Ezhova E.G. Species diversity of clostridium in pigs in Russia. *Veterinary medicine*. 2025; (9): 21–27 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.21-27>
11. Shastin P.N., Supova A.V., Laishetsev A.I., Khabarova A.V., Fabrikantova E.A. Clostridiosis profile of birds. *Veterinaria i kormlenie*. 2025; (3): 112–115 (in Russian). <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-3-24>
12. Shastin P.N., Savinov V.A., Laishetsev A.I., Mandryka E.D., Fabrikantova E.A., Supova A.V. Clostridium species diversity in cattle. *Veterinary Science Today*. 2025; 14(2): 194–200. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-194-200>
13. Peck M.W. *et al.* Historical Perspectives and Guidelines for Botulinum Neurotoxin Subtype Nomenclature. *Toxins*. 2017; 9(1): 38. <https://doi.org/10.3390/toxins9010038>

14. Smith T.J. *et al.* Genomic sequences of six botulinum neurotoxin-producing strains representing three clostridial species illustrate the mobility and diversity of botulinum neurotoxin genes. *Infection, Genetics and Evolution*. 2015; 30: 102–113.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2014.12.002>
15. Palmer J.S., Hough R.L., West H.M., Avery L.M. A review of the abundance, behaviour and detection of clostridial pathogens in agricultural soils. *European Journal of Soil Science*. 2019; 70(4): 911–929.
<https://doi.org/10.1111/ejss.12847>
16. Судоргина Т.Е., Глотова Т.И., Котенева С.В., Неведченко А.В., Велькер Д.А., Глотов А.Г. Клостридиозы крупного рогатого скота: характеристика основных возбудителей, меры профилактики и борьбы (обзор, часть 1). *Ветеринария*. 2023; (5): 3–10.
<https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.5.03-09>
17. Попова А.С., Алексеева И.Г. Диагностика клостридиозов у крупного рогатого скота. *Современные тенденции развития ветеринарной науки и практики. Материалы Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции*. Омск: Омский государственный аграрный университет. 2021; 43–46.
<https://www.elibrary.ru/drovzo>
18. Безбородова Н.А., Соколова О.В., Кожуховская В.В., Томских О.Г., Печура Е.В., Суздальцева М.А. Патогенные виды клостридий и их устойчивость к антибиотикам, факторы вирулентности и геномные особенности. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2023; (3): 39–51.
<https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-41-3-39-51>
19. Hetényi N., Bersényi A., Hullár I. A közepes szénláncú zsírsavak és trigliceridek élettani hatásai, valamint lehetséges felhasználásuk a baromfi- és sertéstakarmányozásban Irodalmi összefoglaló. *Magyar Allatorvosok Lapja*. 2024; 146(11): 651–659.
<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.11.651-659>
20. Sebők C., Márton Rege A., Mackei M., Neogrády Zs., Mátis G. Az antimikrobiális peptidek mint a fertőző betegségek elleni küzdelem új eszközei. *Magyar Allatorvosok Lapja*. 2024; 146(3): 181–191.
<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.03.181-191>
21. Kerek Á., Szabó Á., Barnácz F., Csirmaz B., Kovács L., Jerzsele Á. Antimicrobial Susceptibility and Toxin Gene Profiles of Commensal *Clostridium perfringens* Isolates from Turkeys in Hungarian Poultry Farms (2022–2023). *Antibiotics*. 2025; 14(4): 413.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics14040413>
22. Laishchevtsev A.I., Kapustin A.V., Yakimova E.A., Danilyuk A.V., Gulyukin A.M., Belimenko V.V. Necrotic enteritis of birds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 315(2): 022075.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022075>
23. Popoff M.R., Bouvet P. Genetic characteristics of toxigenic Clostridia and toxin gene evolution. *Toxicon*. 2013; 75: 63–89.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2013.05.003>

ОБ АВТОРАХ

Андрей Владимирович Капустин

доктор биологических наук, первый заместитель директора
kapustin_andrei@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0136-2487>

Павел Николаевич Шастин

кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
shastin.pasha@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0001-7360-927X>

Василий Александрович Савинов

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
visik06@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-1891-0005>

Анастасия Владимировна Супова

научный сотрудник
supova.nastya@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0728-538X>

Ирина Викторовна Полякова

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
drel_irina@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-7392-0364>

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук»,
Рязанский пр-т, 24, корп. 1, Москва, 109428, Россия

14. Smith T.J. *et al.* Genomic sequences of six botulinum neurotoxin-producing strains representing three clostridial species illustrate the mobility and diversity of botulinum neurotoxin genes. *Infection, Genetics and Evolution*. 2015; 30: 102–113.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2014.12.002>

15. Palmer J.S., Hough R.L., West H.M., Avery L.M. A review of the abundance, behaviour and detection of clostridial pathogens in agricultural soils. *European Journal of Soil Science*. 2019; 70(4): 911–929.
<https://doi.org/10.1111/ejss.12847>

16. Sudorgina T.E., Glotova T.I., Koteneva S.V., Nefedchenko A.V., Velker D.A., Glotov A.G. Clostridium infections in cattle: characteristics of the main etiological agents, prevention and control measures (review, part 1). *Veterinary medicine*. 2023; (5): 3–10 (in Russian).
<https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.5.03-09>

17. Popova A.S., Alekseeva I.G. Diagnosis of clostridiosis in cattle. *Current trends in the development of veterinary science and practice. Proceedings of the National (All-Russian) Scientific and Practical Conference*. Omsk: Omsk State Agrarian University. 2021; 43–46 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/drovzo>

18. Bezborodova N.A., Sokolova O.N., Kozhukhovskaya V.V., Tomskikh O.G., Pechura E.V., Suzdaltseva M.A. Pathogenic species of clostridia and their antibiotic resistance, virulence factors, and genomic features. *Innovations and Food Safety*. 2023; (3): 39–51 (in Russian).
<https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-41-3-39-51>

19. Hetényi N., Bersényi A., Hullár I. Physiological effects of medium-chain fatty acids and triglycerides as well as their potential application in poultry and swine nutrition. *Magyar Allatorvosok Lapja*. 2024; 146(11): 651–659 (in Hungarian).
<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.11.651-659>

20. Sebők C., Márton Rege A., Mackei M., Neogrády Zs., Mátis G. Antimicrobial peptides as new tools to combat infectious diseases. *Magyar Allatorvosok Lapja*. 2024; 146(3): 181–191 (in Hungarian).
<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.03.181-191>

21. Kerek Á., Szabó Á., Barnácz F., Csirmaz B., Kovács L., Jerzsele Á. Antimicrobial Susceptibility and Toxin Gene Profiles of Commensal *Clostridium perfringens* Isolates from Turkeys in Hungarian Poultry Farms (2022–2023). *Antibiotics*. 2025; 14(4): 413.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics14040413>

22. Laishchevtsev A.I., Kapustin A.V., Yakimova E.A., Danilyuk A.V., Gulyukin A.M., Belimenko V.V. Necrotic enteritis of birds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 315(2): 022075.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022075>

23. Popoff M.R., Bouvet P. Genetic characteristics of toxigenic Clostridia and toxin gene evolution. *Toxicon*. 2013; 75: 63–89.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2013.05.003>

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Vladimirovich Kapustin

Doctor of Biological Sciences,
First Deputy Director
kapustin_andrei@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0136-2487>

Pavel Nikolaevich Shastin

Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher
shastin.pasha@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0001-7360-927X>

Vasily Alexandrovich Savinov

Candidate of Biological Sciences,
Senior Researcher
visik06@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-1891-0005>

Anastasia Vladimirovna Supova

Research Associate
supova.nastya@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0728-538X>

Irina Viktorovna Polyakova

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
drel_irina@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-7392-0364>

Federal Scientific Centre VIEV,
24 Ryazan Ave., Moscow, 109428, Russia

А.Н. Панин

А.В. Моторыгин

Н.С. Абросимова

З.Х. Межиева

О.В. Прасолова ✉

М.Г. Маноян

Всероссийский государственный
центр качества и стандартизации
лекарственных средств для животных
и кормов, Москва, Россия

✉ o.prasolova@vgnki.ru

Поступила в редакцию: 06.11.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Панин А.Н., Моторыгин А.В.,
Абросимова Н.С., Межиева З.Х.,
Прасолова О.В., Маноян М.Г.

Alexander N. Panin

Anton V. Motorygin

Nadezhda S. Abrosimova

Zarina K. Mezheva

Olga V. Prasolova ✉

Marina G. Manoyan

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

✉ o.prasolova@vgnki.ru

Received by the editorial office: 06.11.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Panin A.N., Motorygin A.V.,
Abrosimova N.S., Mezheva Z.K.,
Prasolova O.V., Manoyan M.G.

Определение вида *Escherichia coli*: проблемы таксономии и филогении

РЕЗЮМЕ

Escherichia coli является компонентом нормальной кишечной микробиоты человека и животных. Фенотипические и генотипические характеристики позволяют идентифицировать патогенные штаммы *E. coli*. Многочисленные патотипы, представляющие собой группы штаммов со специфическими патогенными характеристиками, были описаны на основе гетерогенных критериев. Использование возможностей полногеномного секвенирования привело к накоплению геномных данных, которые делают возможным популяционно-филогенетический подход к возникновению вирулентности, таким образом, *E. coli* дополнительно можно классифицировать на филогенетические группы. При анализе литературных данных установлено, что непатогенные *E. coli*, обитающие в желудочно-кишечном тракте животных, относятся к группе А, комменсальные и некоторые патогенные штаммы относятся к группе В1, InPEC — к группам D1, D2 и Е, большинство ExPEC относятся к группе В2, а штаммы, которые фенотипически неразличимы и генетически разнообразны, относятся к кладу I. Появляющиеся штаммы *E. coli* с множественной лекарственной устойчивостью сложнее поддаются лечению и обуславливают более высокий риск бактериемии. Для эффективной профилактики и лечения инфекций, этиологическим агентом которых является *E. coli*, необходимо различать штаммы (патотипы, филогенетические группы) микроорганизма, вызывающие заболевания у животных, и штаммы, которые поражают человека через пищевую цепь, поскольку животные являются их резервуаром. Для разработки и внедрения эффективных профилактических стратегий необходимо лучшее понимание современной таксономии возбудителя, а также прослеживание геномной эволюции для формирования фундаментальных знаний с целью разработки не только эффективных вакцин, но и новых терапевтических средств для борьбы с этой группой разнообразных патогенов в рамках подхода «Единое здоровье».

Ключевые слова: *Escherichia coli*, эволюция, таксономия, филогения, классификация, патогенность, факторы вирулентности

Для цитирования: 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; 401 (12): 22–27.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-22-27>

Definition of the species *Escherichia coli*: problems of taxonomy and phylogeny

ABSTRACT

Escherichia coli is a component of the normal intestinal microbiota of humans and animals. Phenotypic and genotypic characteristics allow the identification of pathogenic *E. coli* strains. Numerous pathotypes, representing groups of strains with specific pathogenic characteristics, have been described based on heterogeneous criteria. The use of whole-genome sequencing has led to the accumulation of genomic data that enable a population-phylogenetic approach to the emergence of virulence, thus allowing *E. coli* to be further classified into phylogenetic groups. An analysis of the literature data revealed that non-pathogenic *E. coli* living in the gastrointestinal tract of animals belong to group A, commensal and some pathogenic strains belong to group B1, InPEC belong to groups D1, D2 and E, most ExPEC belong to group B2, and strains that are phenotypically indistinguishable and genetically diverse, belong to Clade I. Emerging multidrug-resistant *E. coli* strains are more difficult to treat and pose a higher risk of bacteremia. Effective prevention and treatment of *E. coli* infections requires distinguishing between strains (pathotypes, phylogenetic groups) of the microorganism that cause disease in animals and strains that infect humans through the food chain, as animals serve as their reservoir. The development and implementation of effective preventive strategies requires a better understanding of the current taxonomy of the pathogen, as well as tracing its genomic evolution to generate fundamental knowledge for the development of not only effective vaccines but also new therapeutics to combat this diverse group of pathogens within the framework of a One Health approach.

Key words: *Escherichia coli*, evolution, taxonomy, phylogeny, classification, pathogenicity, virulence factors

For citation: Panin A.N., Motorygin A.V., Abrosimova N.S., Mezheva Z.K., Prasolova O.V., Manoyan M.G. Definition of the species *Escherichia coli*: problems of taxonomy and phylogeny. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 22–27 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-22-27>

Введение/Introduction

Первоначально выделенная *E. coli* была обозначена как *Bacillus coli communis*, латинизация, описывающая ее характерную особенность как «обычную кишечную бактерию», которую можно было легко культивировать в различных субстратах. Исходный образец, впервые описанный в 1885 году, отличался морфологией колоний и клеток, а также способностью сбраживать глюкозу, продуцировать кислоту и сквашивать молоко [1].

После переименования в 1919 году в честь ее первооткрывателя и в последующие десятилетия признаки, используемые для отнесения к этому виду, были расширены и теперь включают набор признаков, отличающих *E. coli* от других кишечных видов [2, 3]. В частности, *E. coli* являются лактозо-, каталазо- и индолположительными, а также оксидазо-, уреазо- и цитратотрицательными, хотя для многих из этих свойств наблюдается низкий уровень полиморфизма.

Генетические и геномные признаки были включены в классификацию *E. coli* в 1960-х годах с применением процедур ДНК-гибридизации [4]. Согласно этому методу, штаммы считались представителями *E. coli*, если их ДНК-сходство с референтными штаммами составляло $\geq 70\%$ [5]. Впоследствии для разграничения видов бактерий применялись другие пороговые значения на основе анализа нуклеиновых кислот, такие как $\geq 97\%$ [6, 7] и позднее $\geq 99\%$ [8] идентичности последовательности 16S РНК или $\geq 95\%$ средней идентичности нуклеотидов [9] для основного набора генов, общих для штаммов [10].

В этом подходе есть определенная цикличность, поскольку пороговые значения идентичности последовательностей были установлены на основе штаммов, которые уже были отнесены к *E. coli* на основе метаболических, морфологических или биохимических признаков, тем самым ограничивая генетические пороговые значения границами видов, которые были установлены. Чтобы учесть быстрорастущее число секвенированных штаммов во всех таксонах, База данных таксономии генома (GTDB; gtdb.ecogenomic.org/) рекомендовала применять порог идентичности по всему геному (аналог ANI) для определения видов бактерий [11].

Если использовать предложенные метрики, то штаммы, которые в настоящее время классифицируются как *E. coli*, можно разделить на шесть видов: *E. coli*, *E. coli* E, *Escherichia ruysiae*, *Escherichia marmotae*, *Escherichia* sp001660175 и *Escherichia* sp005843885. При этом большинство из них будут отнесены к *E. coli* [12].

Классификация *E. coli* также осложняется сложностью дифференциации от *Shigella* как от отдельного рода. Каждый штамм, отнесенный к *Shigella*, попадает в область изменчивости, охватываемую геномом *E. coli* [13, 14], что доказывает независимое происхождение четырех видов *Shigella* от *E. coli* [15, 16]. Очевидно, что таксономия *E. coli* специфична и сложна.

Цель данной работы — систематизация современных данных о таксономии, филогении и классификации бактерии *Escherichia coli* для комплексного анализа проблем определения видовых границ и эволюции патогенных штаммов в контексте подхода «Единое здоровье».

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Проведен всесторонний поиск литературы по основным базам данных (Google Scholar, PubMed, Scopus, Elsevier, Springer, Taylor & Francis и Wiley). В PubMed поиск использовал термины MeSH (медицинские предметные рубрики), такие как NPs and Veterinary Medicine. Для других баз данных (Scopus, Web of Science, Elsevier, Springer и т. д.), которые используют иные системы индексации (например, Emtree в Embase или подходы, основанные на ключевых словах), применяли эквивалентный контролируемый словарь и ключевые слова свободного текста для обеспечения единообразия при поиске соответствующих исследований.

Критерии включения в данный мини-обзор были тщательно разработаны для обеспечения отбора высококачественных и релевантных исследований. В обзор вошли рецензируемые научные статьи, посвященные различным видам таксономии и геномной эволюции *E. Coli*, глубина поиска более 50 лет.

Рассматривали исследования, проведенные в лабораторных условиях *in vivo* или *in vitro* экспериментах с четко измеримыми и представленными результатами. Кроме того, для обеспечения единообразия анализа и интерпретации был ограничен обзор публикациями на английском языке согласно поисковым критериям запроса «патогенная *Escherichia coli*», «эволюция микроорганизмов», «таксономия», «филогения, классификации *Escherichia coli*».

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Escherichia coli — граммотрицательная, неспорообразующая, палочковидная бактерия, принадлежащая к семейству *Enterobacteriaceae*. Встречается у теплокровных животных, людей, в воде, окружающей среде и в некоторых случаях — в загрязненных пищевых продуктах. Обладает высокой степенью адаптации, может выживать и размножаться в различных условиях окружающей среды [17]. Классифицируется на 150–200 серотипов или серогрупп на основе трех антигенов: соматического (O) (или антигена клеточной стенки), капсульного (K) и жгутикового (H) антигена. Выявлены 75 типов H (или жгутикового антигена), 173 типа O (или соматических антигенов) и 103 типа K (или капсульных антигенов) [18].

Изоляты *E. coli* подразделяются на комменсальные, патогенные кишечно-патогенные штаммы *E. coli* (InPEC) и внекишечно-патогенные штаммы

E. coli (ExPEC) в зависимости от генотипических и фенотипических признаков [19].

Гены, кодирующие факторы вирулентности, отвечают за различные размеры генома *E. coli*, поскольку комменсальные и патогенные штаммы различаются на 1 млн пар оснований [20]. Эти гены расположены на генетически мобильных элементах, таких как транспозоны, инсерционные последовательности, бактериофаги и плазмиды, что приводит к горизонтальному переносу генов и внутривидовой генетической изменчивости, которая может привести к дифференциальной колонизации хозяев. Поэтому важно изучать воздействие патогена на здоровье разных видов животных для качественного внедрения программы лечения и профилактики, включенных в концепцию «Единое здоровье» [21].

Всего в литературе описаны 7 патотипов как кишечные патогенные:

- ✓ энтеропатогенные *E. coli* (EPEC),
- ✓ энтерогеморрагические *E. coli* (EHEC) [подгруппа *E. coli*, продуцирующих шига-токсин (STEC)],
- ✓ энтеротоксигенные *E. coli* (ETEC),
- ✓ энтероинвазивные *E. coli* (EIEC),
- ✓ энтероагрегативные *E. coli* (EAEC),
- ✓ диффузно адгезивные *E. coli* (DAEC),
- ✓ адгезивно-инвазивные *E. coli* (AIEC) [22, 23].

В широком смысле ETEC — это патогруппа InPEC, наиболее связанная с заболеваниями животных, поскольку она является возбудителем диареи у молодняка сельскохозяйственных животных. EPEC и STEC часто выделяются от больных диареей и здоровых животных, но их роль в развитии заболеваний животных остается спорной. Однако крупный рогатый скот — основной переносчик EPEC и резервуар STEC, которые являются важными патогенами для человека. EAEC, DAEC и EIEC менее изучены у животных [21].

Каждый патотип *E. coli* имеет свои характерные механизмы патогенности и определенный профиль факторов вирулентности, кодируемых определенными кластерами генов. Гены, связанные с патогенностью, могут кодировать такие активности, как адгезия, инвазия, прикрепление, приобретение железа, подвижность и токсинная активность. Всего можно выделить четыре основных класса вирулентности, характерных для всех патотипов *E. coli*: колонизация, приспособленность, токсины и эффекторы. Каждый состоит из нескольких специфических факторов вирулентности с определенной функцией и активностью. В дополнение к факторам вирулентности всё более распространенной становится устойчивость к антибиотикам. Бактериям нужны факторы вирулентности, чтобы отключить защитные системы хозяина, а устойчивость к антибиотикам не позволяет препаратам бороться с болезнями или инфекциями [24].

Мобильные генетические элементы несут гены, которые устойчивы к антибиотикам и могут передаваться другим бактериям посредством

горизонтального переноса генов. Это означает, что бактерии одного вида могут обладать общими признаками устойчивости и потенциально иметь пул генов устойчивости к антибиотикам. Такая способность подчеркивает важность понимания эволюции и распространения устойчивости к антибиотикам [25].

Кроме того, многочисленные исследования продемонстрировали, что различные факторы, такие как окружающая среда, динамика численности поголовья и экологические условия, приводят к изменчивости популяций *E. coli*. Это говорит о том, что данный микроорганизм способен адаптироваться к различным условиям.

Штаммы *E. coli* дополнительно классифицируются на филогенетические группы A, B1, B2, D1, D2, E, F, относятся к *E. coli sensu stricto* и клад I [26]. Непатогенные *E. coli*, обитающие в желудочно-кишечном тракте, относятся к группе A, комменсальные и некоторые патогенные штаммы — к группе B1, InPEC — к группам D1, D2 и E, большинство ExPEC относятся к группе B2, а штаммы, которые фенотипически неразличимы и генетически разнообразны, относятся к кладу I [27].

Содержание *E. coli* в микробиоте сельскохозяйственных животных характеризуется (по сравнению с дикими животными) более высокой долей штаммов A и B1 и более низкой долей штаммов B2 и D [28, 29]. Патогенные штаммы, относящиеся к филогенетическим группам B2 и D, проявляют более высокую вирулентность, но при этом более восприимчивы к антибиотикам, чем изоляты филогрупп A и B1. Однако использование противомикробных препаратов для лечения эшерихиозов, этиологическим агентом которых является *E. coli* O157:H7, может быть крайне проблематичным [30].

Этот патоген выделяет токсин и, следовательно, относится к группе кишечной палочки, продуцирующей шигатоксин (STEC), которая включает такие серотипы, как O26, O121 и O146 [31, 32]. Поэтому поиск альтернативы антибиотикам набирает популярность в научных, ветеринарных и медицинских кругах [33].

Биология и эволюция различных патоваров *E. coli* сложны [34]. Глубокое понимание молекулярных механизмов патогенеза *E. coli* раскрыло новые аспекты ответа организма хозяина на инфекционные патогены [35]. Использование пробиотиков и бактериофагов в случаях лечения болезней, этиологическим агентом которых являются кишечнопатогенные *E. coli*, продуцирующие шигатоксин, в некоторых случаях может быть эффективным [24].

Вакцины и антибиотики играют важную роль в борьбе с инфекционными болезнями уже много лет. Однако в связи с широким применением антибиотиков увеличилась популяция штаммов, выработавших устойчивость к ним [36–40]. Сокращение числа животных, являющихся источником внекишечнопатогенных *E. coli*, путем замены или

снижения использования противомикробных препаратов вакцинами может снизить потери, вызванные ими, и ограничить распространение данных патогенов среди людей.

Выводы/Conclusions

Современная таксономия вида *Escherichia coli* представляет собой сложную и динамичную систему, где традиционная классификация по серотипам и биохимическим свойствам дополняется более точными геномными подходами. Анализ литературы показывает, что вид не является единым целым, а распадается на несколько филогенетических групп, каждая из которых связана с определенной экологической нишей и патогенным потенциалом.

Критически важным является различие штаммов, вызывающих заболевания у животных, и штаммов, представляющих угрозу для человека через пищевую цепь, поскольку животные часто выступают их резервуаром. Эта дифференциация

лежит в основе подхода «Единое здоровье», который признает неразрывную связь между здоровьем людей, животных и экосистем.

Для эффективного контроля над инфекциями, вызываемыми *E. coli*, необходимы стратегии, выходящие за рамки традиционной антибиотикотерапии. Широкая распространенность мобильных генетических элементов обуславливает быструю эволюцию и распространение как факторов вирулентности, так и генов устойчивости к антибиотикам среди различных патотипов. В связи с этим первостепенное значение приобретают разработка и внедрение альтернативных методов, таких как использование пробиотиков, бактериофагов, и прежде всего эффективных вакцин.

Таким образом, углубленное изучение геномной эволюции и филогении *E. coli* является фундаментальной основой для создания новых терапевтических и профилактических средств, направленных на борьбу с этой разнообразной группой патогенов.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 24-26-00202. <https://rscf.ru/project/24-26-00202>

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. 24-26-00202. <https://rscf.ru/project/24-26-00202>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Escherich T. Die Darmbakterien des Neugeborenen und Sauglings. *Fortschritte der Medizin*. 1885; 3(16–17): 515–522.
2. Koser S.A. Utilization of the salts of organic acids by the colon-aerogenes group. *Journal of Bacteriology*. 1923; 8(5): 493–520. <https://doi.org/10.1128/jb.8.5.493-520.1923>
3. Kauffmann F. Zur Serologie der Coli-Gruppe. *Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica*. 1944; 21(1): 20–45. <https://doi.org/10.1111/j.1699-0463.1944.tb00031.x>
4. Marmur J., Seaman E., Levine J. Interspecific transformation in *Bacillus*. *Journal of Bacteriology*. 1963; 85(2): 461–467. <https://doi.org/10.1128/jb.85.2.461-467.1963>
5. Brenner D.J., Fanning G.R., Skerman F.J., Falkow S. Polynucleotide sequence divergence among strains of *Escherichia coli* and closely related organisms. *Journal of Bacteriology*. 1972; 109(3): 953–965. <https://doi.org/10.1128/jb.109.3.953-965.1972>
6. Tindall B.J., Rosselló-Móra R., Busse H.-J., Ludwig W., Kämpfer P. Notes on the characterization of prokaryote strains for taxonomic purposes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2010; 60(1): 249–266. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.016949-0>
7. Yarza P. et al. Uniting the classification of cultured and uncultured bacteria and archaea using 16S rRNA gene sequences. *Nature Reviews Microbiology*. 2014; 12(9): 635–645. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3330>
8. Edgar R.C. Accuracy of taxonomy prediction for 16S rRNA and fungal ITS sequences. *PeerJ*. 2018; 6: e4652. <https://doi.org/10.7717/peerj.4652>
9. Konstantinidis K.T., Tiedje J.M. Genomic insights that advance the species definition for prokaryotes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2005; 102(7): 2567–2572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409727102>
10. Jain C., Rodriguez-R L.M., Phillippy A.M., Konstantinidis K.T., Aluru S. High throughput ANI analysis of 90K prokaryotic genomes reveals clear species boundaries. *Nature Communications*. 2018; 9: 5114. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07641-9>
11. Parks D.H. et al. A standardized bacterial taxonomy based on genome phylogeny substantially revises the tree of life. *Nature Biotechnology*. 2018; 36(10): 996–1004. <https://doi.org/10.1038/nbt.4229>

REFERENCES

1. Escherich T. The intestinal bacteria of the newborn and infant. *Advances in Medicine*. 1885; 3(16–17): 515–522 (in German).
2. Koser S.A. Utilization of the salts of organic acids by the colon-aerogenes group. *Journal of Bacteriology*. 1923; 8(5): 493–520. <https://doi.org/10.1128/jb.8.5.493-520.1923>
3. Kauffmann F. On the serology of the *E. coli* group. *Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica*. 1944; 21(1): 20–45 (in German). <https://doi.org/10.1111/j.1699-0463.1944.tb00031.x>
4. Marmur J., Seaman E., Levine J. Interspecific transformation in *Bacillus*. *Journal of Bacteriology*. 1963; 85(2): 461–467. <https://doi.org/10.1128/jb.85.2.461-467.1963>
5. Brenner D.J., Fanning G.R., Skerman F.J., Falkow S. Polynucleotide sequence divergence among strains of *Escherichia coli* and closely related organisms. *Journal of Bacteriology*. 1972; 109(3): 953–965. <https://doi.org/10.1128/jb.109.3.953-965.1972>
6. Tindall B.J., Rosselló-Móra R., Busse H.-J., Ludwig W., Kämpfer P. Notes on the characterization of prokaryote strains for taxonomic purposes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2010; 60(1): 249–266. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.016949-0>
7. Yarza P. et al. Uniting the classification of cultured and uncultured bacteria and archaea using 16S rRNA gene sequences. *Nature Reviews Microbiology*. 2014; 12(9): 635–645. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3330>
8. Edgar R.C. Accuracy of taxonomy prediction for 16S rRNA and fungal ITS sequences. *PeerJ*. 2018; 6: e4652. <https://doi.org/10.7717/peerj.4652>
9. Konstantinidis K.T., Tiedje J.M. Genomic insights that advance the species definition for prokaryotes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2005; 102(7): 2567–2572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409727102>
10. Jain C., Rodriguez-R L.M., Phillippy A.M., Konstantinidis K.T., Aluru S. High throughput ANI analysis of 90K prokaryotic genomes reveals clear species boundaries. *Nature Communications*. 2018; 9: 5114. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07641-9>
11. Parks D.H. et al. A standardized bacterial taxonomy based on genome phylogeny substantially revises the tree of life. *Nature Biotechnology*. 2018; 36(10): 996–1004. <https://doi.org/10.1038/nbt.4229>

12. Parks D.H., Chuvochina M., Reeves P.R., Beatson S.A., Hugenholtz P. Reclassification of *Shigella* species as later heterotypic synonyms of *Escherichia coli* in the Genome Taxonomy Database. *BioRxiv*. 2021; 15. <https://doi.org/10.1101/2021.09.22.461432>
13. Brenner D.J., Fanning G.R., Miklos G.V., Steigerwalt A.G. Polynucleotide sequence relatedness among *Shigella* species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 1973; 23(1): 1–7. <https://doi.org/10.1099/00207713-23-1-1>
14. Ochman H., Whittam T.S., Caugant D.A., Selander R.K. Enzyme polymorphism and genetic population structure in *Escherichia coli* and *Shigella*. *Journal of General Microbiology*. 1983; 129(9): 2715–2726. <https://doi.org/10.1099/00221287-129-9-2715>
15. Pupo G.M., Lan R., Reeves P.R. Multiple independent origins of *Shigella* clones of *Escherichia coli* and convergent evolution of many of their characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2000; 97(19): 10567–10572. <https://doi.org/10.1073/pnas.180094797>
16. Lan R., Reeves P.R. *Escherichia coli* in disguise: molecular origins of many of their characteristics. *Microbes and Infection*. 2002; 4(11): 1125–1132. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(02\)01637-4](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(02)01637-4)
17. Jang J., Hur H.-G., Sadowsky M.J., Byappanahalli M.N., Yan T., Ishii S. Environmental *Escherichia coli*: ecology and public health implications — a review. *Journal of Applied Microbiology*. 2017; 123(3): 570–581. <https://doi.org/10.1111/jam.13468>
18. Van Dijk W.C., Verbrugh H.A., van der Tol M.E., Peters R., Verhoef J. Role of *Escherichia coli* K capsular antigens during complement activation, C3 fixation, and opsonization. *Infection and Immunity*. 1979; 25(2): 603–609. <https://doi.org/10.1128/iai.25.2.603-609.1979>
19. Ramos S. et al. *Escherichia coli* Commensal and Pathogenic Bacteria among Food-Producing Animals: Health Implications of Extended Spectrum β -Lactamase (ESBL) Production. *Animals*. 2020; 10(12): 2239. <https://doi.org/10.3390/ani10122239>
20. Croxen M.A., Law R.J., Scholz R., Keeney K.M., Wlodarska M., Finlay B.B. Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*. 2013; 26(4): 822–880. <https://doi.org/10.1128/cmr.00022-13>
21. Etcheverría A.I., Lucchesi P.M.A., Krüger A., Bentancor A.B., Padola N.L. *Escherichia coli* in Animals. Torres A. (ed.). *Escherichia coli* in the Americas. Cham: Springer. 2016; 149–172. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45092-6_7
22. Pakbin B., Brück W.M., Rossen J.W.A. Virulence Factors of Enteric Pathogenic *Escherichia coli*: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(18): 9922. <https://doi.org/10.3390/ijms22189922>
23. Nasrollahian S., Graham J.P., Halaji M. A review of the mechanisms that confer antibiotic resistance in pathotypes of *E. coli*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2024; 14: 1387497. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1387497>
24. Livermore D.M. Bacterial resistance: origins, epidemiology, and impact. *Clinical Infectious Diseases*. 2003; 36(S1): S11–S23. <https://doi.org/10.1086/344654>
25. Lermineaux N.A., Cameron A.D. Horizontal transfer of antibiotic resistance genes in clinical environments. *Canadian Journal of Microbiology*. 2019; 65(1): 34–44. <https://doi.org/10.1139/cjm-2018-0275>
26. Coura F.M. et al. Detection of virulence genes and the phylogenetic groups of *Escherichia coli* isolated from dogs in Brazil. *Ciência Rural*. 2018; 48(2): e20170478. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170478>
27. Chakraborty A., Saralaya V., Adhikari P., Shenoy S., Baliga S., Hegde A. Characterization of *Escherichia coli* phylogenetic groups associated with extraintestinal infections in South Indian population. *Annals of Medical and Health Sciences Research*. 2015; 5(4): 241–246.
28. Hrala M. et al. Extraintestinal *Escherichia coli* from camel carcasses: Phylogroups, serotypes, and markers of virulence. *PLOS One*. 2025; 20(10): e0334045. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0334045>
29. Abul Y., Engin C., Öztürk M.C., Kekeç A.I., Nowakiewicz A., Bağcıgil A.F. First study on *Escherichia coli* isolates from Free-Ranging red deer in a natural park in Türkiye. *European Journal of Wildlife Research*. 2025; 71(5): 102. <https://doi.org/10.1007/s10344-025-01986-5>
30. Holzer K., Marongiu L., Detert K., Venturelli S., Schmidt H., Hoelzle L.E. Phage applications for biocontrol of enterohemorrhagic *E. coli* O157:H7 and other Shiga toxin-producing *Escherichia coli*. *International Journal of Food Microbiology*. 2025; 439: 111267. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111267>
12. Parks D.H., Chuvochina M., Reeves P.R., Beatson S.A., Hugenholtz P. Reclassification of *Shigella* species as later heterotypic synonyms of *Escherichia coli* in the Genome Taxonomy Database. *BioRxiv*. 2021; 15. <https://doi.org/10.1101/2021.09.22.461432>
13. Brenner D.J., Fanning G.R., Miklos G.V., Steigerwalt A.G. Polynucleotide sequence relatedness among *Shigella* species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 1973; 23(1): 1–7. <https://doi.org/10.1099/00207713-23-1-1>
14. Ochman H., Whittam T.S., Caugant D.A., Selander R.K. Enzyme polymorphism and genetic population structure in *Escherichia coli* and *Shigella*. *Journal of General Microbiology*. 1983; 129(9): 2715–2726. <https://doi.org/10.1099/00221287-129-9-2715>
15. Pupo G.M., Lan R., Reeves P.R. Multiple independent origins of *Shigella* clones of *Escherichia coli* and convergent evolution of many of their characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2000; 97(19): 10567–10572. <https://doi.org/10.1073/pnas.180094797>
16. Lan R., Reeves P.R. *Escherichia coli* in disguise: molecular origins of *Shigella*. *Microbes and Infection*. 2002; 4(11): 1125–1132. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(02\)01637-4](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(02)01637-4)
17. Jang J., Hur H.-G., Sadowsky M.J., Byappanahalli M.N., Yan T., Ishii S. Environmental *Escherichia coli*: ecology and public health implications — a review. *Journal of Applied Microbiology*. 2017; 123(3): 570–581. <https://doi.org/10.1111/jam.13468>
18. Van Dijk W.C., Verbrugh H.A., van der Tol M.E., Peters R., Verhoef J. Role of *Escherichia coli* K capsular antigens during complement activation, C3 fixation, and opsonization. *Infection and Immunity*. 1979; 25(2): 603–609. <https://doi.org/10.1128/iai.25.2.603-609.1979>
19. Ramos S. et al. *Escherichia coli* Commensal and Pathogenic Bacteria among Food-Producing Animals: Health Implications of Extended Spectrum β -Lactamase (ESBL) Production. *Animals*. 2020; 10(12): 2239. <https://doi.org/10.3390/ani10122239>
20. Croxen M.A., Law R.J., Scholz R., Keeney K.M., Wlodarska M., Finlay B.B. Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*. 2013; 26(4): 822–880. <https://doi.org/10.1128/cmr.00022-13>
21. Etcheverría A.I., Lucchesi P.M.A., Krüger A., Bentancor A.B., Padola N.L. *Escherichia coli* in Animals. Torres A. (ed.). *Escherichia coli* in the Americas. Cham: Springer. 2016; 149–172. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45092-6_7
22. Pakbin B., Brück W.M., Rossen J.W.A. Virulence Factors of Enteric Pathogenic *Escherichia coli*: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(18): 9922. <https://doi.org/10.3390/ijms22189922>
23. Nasrollahian S., Graham J.P., Halaji M. A review of the mechanisms that confer antibiotic resistance in pathotypes of *E. coli*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2024; 14: 1387497. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1387497>
24. Livermore D.M. Bacterial resistance: origins, epidemiology, and impact. *Clinical Infectious Diseases*. 2003; 36(S1): S11–S23. <https://doi.org/10.1086/344654>
25. Lermineaux N.A., Cameron A.D. Horizontal transfer of antibiotic resistance genes in clinical environments. *Canadian Journal of Microbiology*. 2019; 65(1): 34–44. <https://doi.org/10.1139/cjm-2018-0275>
26. Coura F.M. et al. Detection of virulence genes and the phylogenetic groups of *Escherichia coli* isolated from dogs in Brazil. *Ciência Rural*. 2018; 48(2): e20170478. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170478>
27. Chakraborty A., Saralaya V., Adhikari P., Shenoy S., Baliga S., Hegde A. Characterization of *Escherichia coli* phylogenetic groups associated with extraintestinal infections in South Indian population. *Annals of Medical and Health Sciences Research*. 2015; 5(4): 241–246.
28. Hrala M. et al. Extraintestinal *Escherichia coli* from camel carcasses: Phylogroups, serotypes, and markers of virulence. *PLOS One*. 2025; 20(10): e0334045. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0334045>
29. Abul Y., Engin C., Öztürk M.C., Kekeç A.I., Nowakiewicz A., Bağcıgil A.F. First study on *Escherichia coli* isolates from Free-Ranging red deer in a natural park in Türkiye. *European Journal of Wildlife Research*. 2025; 71(5): 102. <https://doi.org/10.1007/s10344-025-01986-5>
30. Holzer K., Marongiu L., Detert K., Venturelli S., Schmidt H., Hoelzle L.E. Phage applications for biocontrol of enterohemorrhagic *E. coli* O157:H7 and other Shiga toxin-producing *Escherichia coli*. *International Journal of Food Microbiology*. 2025; 439: 111267. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111267>

31. van Hoek A.H.A.M. *et al.* Virulence and antimicrobial resistance of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* from dairy goat and sheep farms in the Netherlands. *Journal of Applied Microbiology*. 2023; 134(6): lxad119.
<https://doi.org/10.1093/jambio/lxad119>
32. Alhadlaq M.A. *et al.* Overview of pathogenic *Escherichia coli*, with a focus on Shiga toxin-producing serotypes, global outbreaks (1982–2024) and food safety criteria. *Gut Pathogens*. 2024; 16: 57.
<https://doi.org/10.1186/s13099-024-00641-9>
33. O'Connell L.M., Coffey A., O'Mahony J.M. Alternatives to antibiotics in veterinary medicine: considerations for the management of Johne's disease. *Animal Health Research Reviews*. 2023, 24(1): 12–27.
<https://doi.org/10.1017/S146625232300004X>
34. Denamur E., Clermont O., Bonacorsi S., Gordon D. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*. 2021; 19(1): 37–54.
<https://doi.org/10.1038/s41579-020-0416-x>
35. Croxen M.A., Finlay B.B. Molecular mechanisms of *Escherichia coli* pathogenicity. *Nature Reviews Microbiology*. 2010; 8(1): 26–38.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro2265>
36. Гулюкин А.М., Капустин А.В., Мищенко А.В. Антибиотикорезистентность как фактор, препятствующий борьбе с инфекционными заболеваниями животных. *Вестник Российской академии наук*. 2024; (1): 19–24.
<https://doi.org/10.31857/S0869587324010049>
37. Пирадов М.А. Антибиотикорезистентность — один из глобальных вызовов человечеству. *Вестник Российской академии наук*. 2025; (4): 22–24.
<https://doi.org/10.31857/S0869587325040044>
38. Олсуфьева Е.Н., Янковская В.С. Анализ проблемы антибиотикорезистентности в агропромышленном комплексе. *Антибиотики и химиотерапия*. 2024; 69(9–10): 108–132.
<https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-9-10-108-132>
39. Грацианская А.Н., Теплова Н.В., Белоусова Л.Б. Новые возможности преодоления антибиотикорезистентности бактерий. *Антибиотики и химиотерапия*. 2024; 69(11–12): 121–126.
<https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-11-12-121-126>
40. Karwowska E. Antibiotic Resistance in the Farming Environment. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024; 14(13): 5776.
<https://doi.org/10.3390/app14135776>

ОБ АВТОРАХ

Александр Николаевич Панин

доктор ветеринарных наук, профессор, академик
Российской академии наук, советник
alexanderpanin5083@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6001-6739>

Антон Валерьевич Моторыгин

кандидат ветеринарных наук, заведующий научно-технологической лабораторией
avmotorygin@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3374-2601>

Надежда Сергеевна Абросимова

старший научный сотрудник научно-технологической лаборатории
n.abrosimova@vgnki.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8701-301X>

Зарина Хамзатовна Межиева

кандидат ветеринарных наук, главный специалист отдела бактериологии
zarina@vgnki.ru

Ольга Владимировна Прасолова

доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник
отдела молекулярной биологии
o.prasolova@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8924-2273>

Марина Геворковна Маноян

кандидат ветеринарных наук, заведующая отделом микологии
mycology@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6347-413X>

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

31. van Hoek A.H.A.M. *et al.* Virulence and antimicrobial resistance of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* from dairy goat and sheep farms in the Netherlands. *Journal of Applied Microbiology*. 2023; 134(6): lxad119.
<https://doi.org/10.1093/jambio/lxad119>

32. Alhadlaq M.A. *et al.* Overview of pathogenic *Escherichia coli*, with a focus on Shiga toxin-producing serotypes, global outbreaks (1982–2024) and food safety criteria. *Gut Pathogens*. 2024; 16: 57.
<https://doi.org/10.1186/s13099-024-00641-9>

33. O'Connell L.M., Coffey A., O'Mahony J.M. Alternatives to antibiotics in veterinary medicine: considerations for the management of Johne's disease. *Animal Health Research Reviews*. 2023, 24(1): 12–27.
<https://doi.org/10.1017/S146625232300004X>

34. Denamur E., Clermont O., Bonacorsi S., Gordon D. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*. 2021; 19(1): 37–54.
<https://doi.org/10.1038/s41579-020-0416-x>

35. Croxen M.A., Finlay B.B. Molecular mechanisms of *Escherichia coli* pathogenicity. *Nature Reviews Microbiology*. 2010; 8(1): 26–38.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro2265>

36. Gulyukin A.M., Kapustin A.V., Mishchenko A.V. Antibiotic resistance as a factor hindering the fight against infectious diseases of animals. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2024; (1): 19–24 (in Russian).
<https://doi.org/10.31857/S0869587324010049>

37. Piradov M.A. Antibiotic resistance is one of the global challenges to humanity. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2025; (4): 22–24 (in Russian).
<https://doi.org/10.31857/S0869587325040044>

38. Olsufyeva E.N., Yankovskaya V.S. Analysis of the Antibiotic Resistance Problem in the Agricultural Sector. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2024; 69(9–10): 108–132 (in Russian).
<https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-9-10-108-132>

39. Gratsianskaya A.N., Teplova N.V., Belousova L.B. New Possibilities for Overcoming Antibiotic Resistance in Bacteria. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2024; 69(11–12): 121–126 (in Russian).
<https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-11-12-121-126>

40. Karwowska E. Antibiotic Resistance in the Farming Environment. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024; 14(13): 5776.
<https://doi.org/10.3390/app14135776>

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Nikolaevich Panin

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the
Russian Academy of Sciences, Advisor
alexanderpanin5083@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6001-6739>

Anton Valerievich Motorygin

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Scientific and
Technological Laboratory
avmotorygin@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3374-2601>

Nadezhda Sergeevna Abrosimova

Senior Researcher at the Scientific and Technological
Laboratory
n.abrosimova@vgnki.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8701-301X>

Zarina Khamzatovna Mezheva

Candidate of Veterinary Sciences, Chief Specialist of the
Department of Bacteriology
zarina@vgnki.ru

Olga Vladimirovna Prasolova

Doctor of Veterinary Sciences, Senior Researcher at the
Department of Molecular Biology
o.prasolova@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8924-2273>

Marina Gevorkovna Manoyan

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Department
of Mycology
mycology@vgnki.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6347-413X>

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

А.В. Золотова¹ ✉Т.И. Хорева¹В.М. Гаффарова¹С.С. Сафонова²

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет, Москва, Россия)

²Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

✉ avzolutova@gmail.com

Поступила в редакцию: 17.07.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Золотова А.В., Хорева Т.И.,
Гаффарова В.М., Сафонова С.С.

Anastasia V. Zolotova¹ ✉Tatiana I. Khoreva¹Victoria M. Gaffarova¹Stanislava S. Safonova²

¹K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University), Moscow, Russia

²Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉ avzolutova@gmail.com

Received by the editorial office: 17.07.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Zolotova A.V., Khoreva T.I.,
Gaffarova V.M., Safonova S.S.

Морфофункциональные изменения тощей и слепой кишок кроликов (*Oryctolagus cuniculus domesticus*) при применении пробиотических добавок «Энзимспорин» и *L. brevis* 47f

РЕЗЮМЕ

Рассмотрено влияние пробиотиков «Энзимспорин» и *Lactobacillus brevis* 47f (LB 47f). Наблюдения показали, что кролики демонстрировали нормальные показатели здоровья без отклонений в работе основных систем организма на протяжении всего исследования. Морфометрические показатели тощей кишки свидетельствуют, что она наиболее развита у животных, выращенных при добавлении в корм пробиотика LB47f, общая толщина ее стенки составляет 1676 мкм, что больше на 19,09%, чем у кроликов контрольной группы, и на 8,7%, чем у животных второй опытной группы, получавших «Энзимспорин». В тощей кишке кроликов 2-й и 3-й опытных групп, получавших пробиотики, процессы переваривания пищи и усвоения питательных веществ корма проходят более интенсивно, чем в контроле. Анализ гистологической структуры слепой кишки выявил статистически значимые различия между показателями контрольной и опытных групп. Толщина слизистой оболочки во 2-й группе меньше, чем в контроле, на 5,2%, а в 3-й группе, наоборот, больше на 5,3% ($p \leq 0,05$). Морфометрические показатели стенки слепой кишки животных обеих опытных групп свидетельствуют об увеличении подслизистого слоя относительно контроля: на 39,2% во 2-й группе и на 21,4% — в 1-й. Толщина мышечной оболочки слепой кишки в обеих опытных группах кроликов выше контроля: на 17,7% во 2-й группе и на 0,9% в 3-й группе.

Ключевые слова: кролики, пробиотики, гистология, кишечник, тощая кишка, слепая кишка, усвоение пищи

Для цитирования: Золотова А.В., Хорева Т.И., Гаффарова В.М., Сафонова С.С. Морфофункциональные изменения тощей и слепой кишок кроликов (*Oryctolagus cuniculus domesticus*) при применении пробиотических добавок «Энзимспорин» и *L. brevis* 47f. *Аграрная наука*. 2025; 401(12): 28–35.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-28-35>

Morphofunctional changes in the jejunum and cecum of rabbits (*Oryctolagus cuniculus domesticus*) when using probiotic supplements “Enzimsporin” and *L. brevis* 47f

ABSTRACT

The effect of probiotics “Enzymosporin” and *Lactobacillus brevis* 47f (LB 47f) was considered. Observations showed that the experimental test subjects demonstrated normal health indicators, without abnormalities in the functioning of the main body systems throughout the study. Morphometric parameters of the jejunum indicate that it is most developed in animals raised with the addition of probiotic LB47f to the feed, its total wall thickness is 1,676 microns, which is 19.09% more than in rabbits of the control group, and 8.7% more than in animals of the second experimental group. Thus, it can be concluded that in the jejunum of rabbits of the 2nd and 3rd experimental groups treated with probiotics, the processes of food digestion and assimilation of feed nutrients are more intense than in the control. The histological data obtained on the cecum at the end of the experiment allow us to judge the visible differences in the indicators of the experimental and control groups. The thickness of the mucous membrane in the 2nd group is 5.2% less than in the control, and in the 3rd group, on the contrary, it is 5.3% more ($p \leq 0.05$). Morphometric parameters of the cecal wall of animals of both experimental groups indicate an increase in the submucosal layer relative to the control: by 39.2% in group 2 and by 21.4% in group 1. The thickness of the muscular membrane of the cecum in both experimental groups of rabbits was higher than the control: by 17.7% in group 2 and 0.9% in group 3.

Key words: rabbits, probiotics, histology, intestines, jejunum, cecum, food assimilation

For citation: Zolotova A.V., Khoreva T.I., Gaffarova V.M., Safonova S.S. Morphofunctional changes in the jejunum and cecum of rabbits (*Oryctolagus cuniculus domesticus*) when using probiotic supplements “Enzimsporin” and *L. brevis* 47f. *Agrarian science*. 2025; 401(12): 28–35 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-28-35>

Введение/Introduction

Современное животноводство ставит для себя основной задачей постоянное наращивание производственных темпов. Данная тенденция не обошла стороной и кролиководство. Многие хозяйства внедряют интенсивные методы выращивания животных, тем самым увеличивая плотность посадки. Подобные методы не только могут ввести животных в состояние стресса, но и значительно увеличить микробиологическую нагрузку на их организм. Чаще всего для решения этой проблемы используются антибиотики, которые хоть и помогают избавиться от возбудителей бактериальных заболеваний, но в итоге негативно влияют на нормофлору кишечника кроликов. В свою очередь, нарушенная микрофлора способна привести к ухудшению набора массы животными и снижению у них сопротивляемости к заболеваниям.

В настоящее время в животноводческих хозяйствах всё чаще используются пробиотические добавки для разных видов животных с целью нормализации микрофлоры кишечника, общего улучшения работы желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), усвояемости кормов и, как результат, увеличения их продуктивных показателей. Несмотря на обилие исследований пробиотиков, большинство работ оценивают микробиоту ЖКТ, продуктивные или общие физиологические показатели, практически не уделяя внимания гистоморфометрическим изменениям различных отделов кишечника [1–3].

Существуют некоторые исследования, доказывающие положительное влияние пробиотических добавок не только на набор массы животными и общее состояние кишечника, а также на толщину различных оболочек и высоту ворсинок. Например, в ходе опыта с поросятами в опытной группе, принимавшей пробиотик в пищу, были зарегистрированы не только более активное увеличение живой массы и интенсификация пищеварения, но и увеличение размеров ворсинок слизистой оболочки кишечника [4].

Влияние пробиотиков на размер складок кишечника доказывает исследование пробиотика на особях африканского клариевого сома: было замечено явное улучшение гистологических показателей кишечника у опытной группы в сравнении с контрольной [5]. Состояние кишечника, особенно его слизистой оболочки, является ключевым фактором продуктивности, эффективности использования корма и резистентности к заболеваниям у животных, в том числе и у кроликов. Гистологическая структура (высота ворсинок, глубина крипт, целостность эпителия) напрямую определяет барьерную, всасывательную, секреторную и иммунную функции кишечника.

К настоящему моменту было исследовано влияние данных пробиотиков на набор массы и показатели крови домашних кроликов [6]. В ходе исследования выявлено увеличение массы животных в опытных группах, где использовались

пробиотики, по сравнению с контролем (в среднем на 4%).

Результаты исследования позволили судить о благоприятном эффекте кормовых добавок на гематологические показатели. В опытных группах, получавших данные пробиотики, относительно контрольной наблюдались активный рост цитоплазмы гепатоцитов и уменьшение их ядерно-цитоплазматического соотношения, что говорит об увеличении активности метаболических процессов в печени кроликов [7]. Например, «Энзимспорин» и *Lactobacillus brevis* 47f (LB 47f) призваны развивать полезную микрофлору кишечника с целью улучшения усвоения питательных веществ, а также повышать продуктивность и рост животных. Новизна исследования заключается в использовании детального гистоморфометрического анализа тонкой и слепой кишок кроликов как основного инструмента для оценки эффективности двух различных пробиотиков («Энзимспорина» и *Lactobacillus brevis* 47f) в улучшении барьерной и всасывательной функций кишечника, что может дать понимание механизмов их потенциально положительного действия на гистологическом уровне.

С другой стороны, имеются литературные данные о низкой эффективности применения пробиотиков при дисбиотических нарушениях, а также о способности некоторых пробиотических штаммов выступать в качестве оппортунистических патогенов [8, 9]. В связи с этим необходимы дополнительные исследования воздействия разных пробиотиков для демонстрации безопасности и эффективности конкретных пробиотиков в определенных целях. Одним из наиболее объективных методов оценки эффективности действия пробиотиков является морфологическое исследование с количественной оценкой структурных изменений кишечника [10].

Исследования воздействия пробиотиков на гистологические показатели кишечника, особенно толстой кишки, фрагментарны и всё еще недостаточны для суждения об их влиянии на состояние выращиваемых животных [10–12].

Цель данной работы — изучить влияние пробиотических добавок «Энзимспорин» и LB 47f на гистологические показатели тощей и слепой кишок домашних кроликов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили на базе факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологии и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)» в 2024 году.

Для изучения влияния пробиотических добавок тест-объектом служили кролики-самцы местной селекции вивария МГУТУ им. К.Г. Разумовского (на основе калифорнийской породы) в возрасте 1,5 месяцев.

Животные были разделены на 3 группы по принципу аналогов по 5 голов в каждой ($n = 15$). Условия содержания и кормления подопытных животных соответствовали рекомендациям по клеточному выращиванию и кормлению¹. Все кролики содержались в одинаковых условиях и были свободны от заболеваний различной этиологии.

В качестве основного питания использовали «Комбикорм для кроликов универсальный» (Purina, Россия) (сырой протеин 165,00 г/кг, сырой жир 27,00 г/кг, сырая клетчатка 145,00 г/кг, влажность 14%, кальций 11,00 г/кг, фосфор 6,00 г/кг, обменная энергия 10,00 МДж/кг).

Кроликов 1-й группы (контрольной) кормили только комбикормом, кроликов опытных групп — комбикормом с введением пробиотических препаратов, 2-й группе животных добавляли пробиотик «Энзимспорин» (ООО «Иннагро», Россия) в дозировке 2 г/кг комбикорма, 3-й группе — пробиотик *Lactobacillus Brevis* 47F (далее — LB 47f («ИОГен РАН», Россия) в дозировке 1 г/кг комбикорма.

В состав препарата «Энзимспорин»² входят специально выведенные штаммы спорообразующих бактерий рода *Bacillus* в равных соотношениях и наполнитель мальтодекстрин. В 1 г кормовой добавки содержится не менее 5×10^9 КОЕ/г (колониеобразующих единиц). Основу пробиотика LB 47F составляют *Lactobacillus brevis* 47f (ВКМП Б-12237)³. Оба пробиотика были созданы на базе Института общей генетики им/ Н.И. Вавилова РАН.

В рамках исследования был произведен убой кроликов в возрасте 3,5 месяцев. Экспериментальные исследования выполняли в соответствии с нормами гуманного обращения с животными, которые регламентированы Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS No 123, Страсбург, 18.03.1986)⁴.

Взвешивание кроликов производили при помощи весов CAS AD-20N (Южная Корея, СИ поверены).

Выбор изучения морфофункциональных особенностей тощей (*jejunum*) и слепой (*caecum*) кишки обусловлен их ключевой ролью в пищеварении у представителей отряда *Lagomorpha* (зайцеобразные), для которых характерна особая стратегия ферментации растительных волокон.

На слепую кишку с аппендиксом приходится почти треть толстой кишки⁵. Для фиксации образцов использовали 10%-ный нейтральный раствор формалина, а для окрашивания срезов применяли стандартную методику с использованием комбинации гематоксилина и эозина⁶.

При исследовании микропрепаратов проводили оценку следующих гистологических структур: средней высоты ворсинок тощей кишки (*villi intestinales*), глубины крипт (*criptae*), толщины мышечной пластинки (*lamina muscularis*), высоты слизистой (*lamina propria*), подслизистой (*tela submucosa*), мышечной (*tunica muscularis*) и серозной (*tunica serosa*) оболочек тощей и слепой кишки.

Микроскопический анализ проводили с использованием светового микроскопа Olympus BX53 (Япония), дополненного окулярной насадкой Carl Zeiss ERc 5s (Германия).

Для подтверждения достоверности полученных результатов применяли t-критерий Стьюдента. Статистический анализ данных, собранных в ходе экспериментов, осуществляли с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В эксперименте показатели здоровья кроликов были в границах физиологической нормы без отклонений в работе основных систем организма на протяжении всего исследования.

Стенка кишечника кроликов состоит из четырех оболочек: слизистой, подслизистой, мышечной и серозной [12]⁷.

Наибольший интерес представляют изменения слизистой оболочки. В тощей кишке слизистая состоит из эпителия, собственной пластинки и мышечной пластинки. Эпителий ворсинок показывает хорошую сохранность. Тощая кишка имеет ворсинки и крипты (общекисечные железы). В слепой кишке ворсинки отсутствуют. При исследовании слизистой оболочки тощей кишки патологий не обнаружено во всех группах. Ворсинки имеют пальцевидную или иногда нитевидную форму, покрыты цилиндрическим эпителием, часто имеют разветвления. Особенно хорошо это видно в контрольной группе и группе, получавшей LB 47f (рис. 1). В 3-й группе более выражена складчатость слизистой и более плотно расположены крипты.

¹ ГОСТ 33216-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами.

² Сеин О.Б., Сеин Д.О., Зорикова А.А., Керимов К.Б. Способ получения микрокапсулированного энзимспорина. Патент RU 2 780 885 С1. Заявка от 25.08.2021 № 2021125233. 2022.

³ Марсова М.В., Климина К.М., Абилов С.К., Полуэктова Е.У., Даниленко В.Н. Фармацевтическая композиция для терапии воспалительных заболеваний слизистых оболочек кишечника на основе штамма *Lactobacillus brevis* 47f, проявляющая местную противовоспалительную активность. Патент RU 2 675 110 С1. Заявка: от 09.04.2018, № 2018112564. 2018.

⁴ Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS No. 123) [рус., англ.]. Страсбург. 18.03.1986.

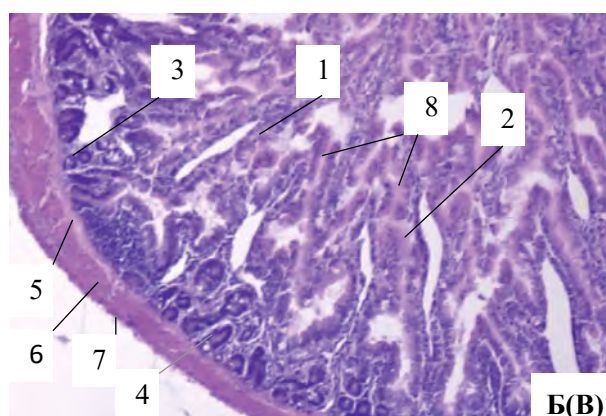
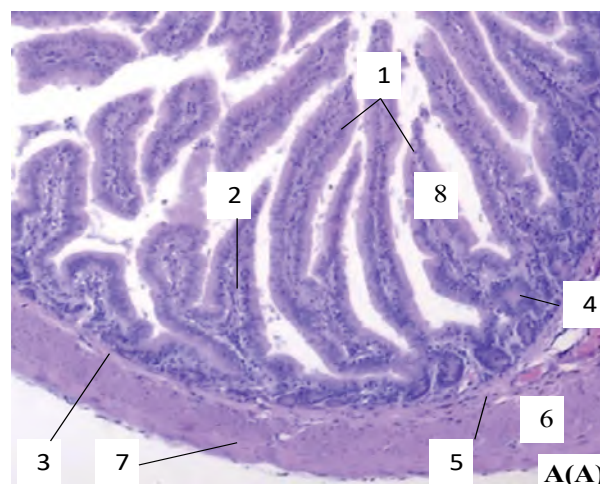
⁵ Varga M. Rabbit basic science. Textbook of rabbit medicine. 2013; 3.

⁶ Золотова А.В., Панов В.П. Морфологические методы исследования. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2016; 58.

⁷ Сидорова М.В., Панов В.П., Семак А.Э. Морфология сельскохозяйственных животных. Анатомия и гистология с основами цитологии и эмбриологии: учебник для вузов (4-е изд., стер.). СПб.: Лань. 2023; 544.

Рис. 1. Гистологическое строение тощей кишки кроликов контрольной группы (А), 3-й группы, получавших LB 47f (Б), 2-й группы, получавших «Энзимспорин» (В): 1 — эпителий слизистой оболочки, 2 — собственная пластинка слизистой оболочки, 3 — мышечная пластинка, 4 — крипты слизистой оболочки, 5 — подслизистая оболочка, 6 — внутренний циркулярный мышечный слой, 7 — наружный продольный мышечный слой, 8 — ворсинка слизистой оболочки. Увеличение в 100 раз. Окраска эозином и гематоксилином

Fig. 1. Histological structure of the jejunum of rabbits from the control group (A), the 3rd group receiving LB 47f (B), and the 2nd group receiving "Enzymesporin" (C): 1 — epithelium of the mucous membrane, 2 — lamina propria of the mucous membrane, 3 — muscularis propria, 4 — crypts of the mucous membrane, 5 — submucosa, 6 — inner circular muscular layer, 7 — outer longitudinal muscular layer, 8 — villus of the mucous membrane. Magnification 100 times. Stained with eosin and hematoxylin



Морфометрические показатели тощей кишки свидетельствуют, что она наиболее развита у животных, выращенных при добавлении в корм пробиотика LB47f, общая толщина ее стенки составляет 1676 мкм, что больше на 19,09%, чем у кроликов контрольной группы, и на 8,7% — чем у животных 2-й опытной (табл. 1).

Слизистая оболочка тощей кишки у 2-й и 3-й опытных групп преобладала над контролем на 14,1% и 21,8% соответственно. Мышечная пластинка слизистой оболочки, состоящая из гладких миоцитов, у опытных групп толще контроля на 16–19%.

Подслизистая оболочка, состоящая из рыхлой соединительной ткани, преобладает у группы кроликов, получавшей LB 47f (на 33% по сравнению с контролем и 2-й опытной группой).

Высота ворсинок тощей кишки во 2-й и 3-й опытных группах преобладала над контролем на 14,1% и 21,8% соответственно. Кишечные крипты кроликов 2-й и 3-й групп превышают контрольную на 18% и 25,9% соответственно (табл. 2). Данные показатели говорят о большей площади всасывания питательных веществ и секреторной активности тощей кишки.

Таблица 1. Данные морфометрии тощей кишки кроликов при кормлении комбикормом с добавлением пробиотиков, мкм

Table 1. Data of morphometry of the jejunum of rabbits fed with compound feed with the addition of probiotics, μm

Группа	Слизистая оболочка	Мышечная пластинка	Подслизистая оболочка	Мышечная оболочка	Серозная оболочка
1	882,95 $\pm$ 22,94	25,45 $\pm$ 1,15	160,46 $\pm$ 9,74	287,45 $\pm$ 19,15	10,1 $\pm$ 1,08
2	1034,11 $\pm$ 29,4 ^{1,2}	31,64 $\pm$ 1,38 ²	162,27 $\pm$ 6,04 ¹	303,54 $\pm$ 13,8	11,3 $\pm$ 1,58
3	1136,75 $\pm$ 21,06 ¹	30,54 $\pm$ 1,4 ²	240,96 $\pm$ 10,06 ²	268,3 $\pm$ 12,21	11,0 $\pm$ 2,1

Примечание: здесь и далее: ¹ различия между опытными группами достоверны при $p \leq 0,05$; ² различия между контрольной и опытной группами достоверны при $p \leq 0,05$.

Таблица 2. Морфометрические показатели слизистой оболочки тощей кишки разных групп кроликов, мкм

Table 2. Morphometric parameters of the jejunal mucosa of different groups of rabbits, μm

Группа	Высота ворсинок, мкм	Глубина крипт, мкм	Соотношение ворсинки к крипте
1	782,91 $\pm$ 22,37	100,04 $\pm$ 3,54	7,8:1
2	911,61 $\pm$ 27,35 ¹	122,5 $\pm$ 4,35 ¹	7,44:1
3	1001,19 $\pm$ 23,01 ^{1,2}	135,56 $\pm$ 7,22 ¹	7,38:1

Примечание: здесь и далее: ¹ различия между контрольной и опытной группами достоверны при $p \leq 0,05$; ² различия между опытными группами достоверны при $p \leq 0,05$.

Всё это приводит к более эффективному использованию корма кроликами опытных групп.

Соотношение ворсинки к крипте уменьшается в ряду от 1-й до 3 группы.

Проведя анализ морфофункциональных показателей тощей кишки, можно сделать вывод, что

в кишечнике кроликов 2-й и 3-й опытных групп, получавших пробиотики, процессы переваривания пищи и усвоения питательных веществ корма проходят более интенсивно, чем в контроле, за счет достоверного увеличения на 14–21% высоты ворсинок ($p \leq 0,05$) и на 18–26% глубины крипт ($p \leq 0,05$).

Эти данные свидетельствуют о влиянии пробиотиков на структурно-функциональную организацию слизистой оболочки тощей кишки, оптимизирующей процессы мембранного пищеварения и усвоения нутриентов.

Для стабилизации состава микрофлоры в толстом кишечнике широко используются различные пробиотики, однако исследований влияния пробиотиков на его структурные изменения крайне мало [10, 12]. Слепая кишка кроликов выстлана высоким цилиндрическим эпителием с выраженной микроворсинчатой щеточной каемкой. Среди энтероцитов встречаются бокаловидные клетки, количество которых увеличивается в криптах. Кипты расположены довольно редко.

Гистологическое строение слепой кишки говорит о происходящих в ней довольно активных процессах всасывания нутриентов.

Морфометрические данные, полученные при изучении гистологических срезов

слепой кишки в конце эксперимента, позволяют судить о видимых различиях в показателях опытных и контрольной групп. Толщина слизистой оболочки различается между опытными группами: 2-я группа показывает уменьшение толщины слизистой оболочки относительно контроля на 5,2%, а 3-я группа показывает увеличение на 5,3%. Толщина крипт меньше во 2-й группе на 2,9% и больше в 3-й группе на 2,7% относительно контроля. Толщина мышечной пластинки имеет следующие отличия: 2-я группа показывает увеличение на 42,5%, а 3-я группа — уменьшение на 6,7% по сравнению с контролем.

Показатели обеих опытных групп свидетельствуют об увеличении подслизистого слоя слепой кишки: на 39,2% во 2-й группе и на 21,4%. Увеличение показателей наблюдается и у мышечной оболочки слепой кишки в обеих опытных группах относительно контроля: на 17,7% во 2-й группе, на 0,9% в 3-й группе (табл. 3). Толщина серозной

Таблица 3. Данные морфометрии слепой кишки кроликов при скармливании комбикорма с добавлением пробиотиков

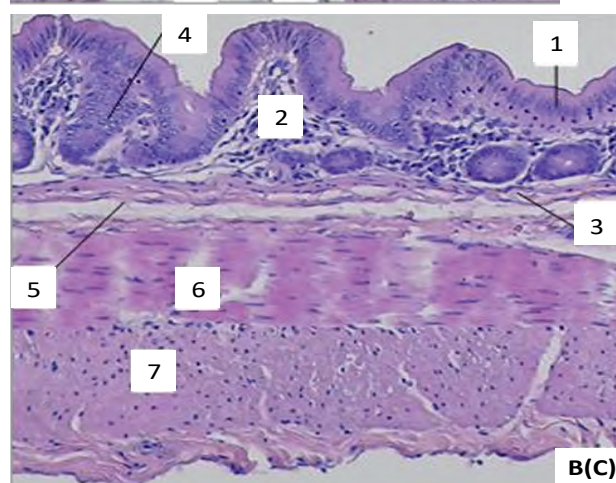
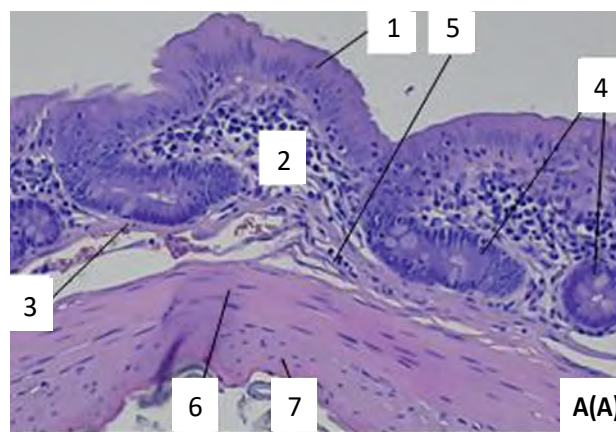
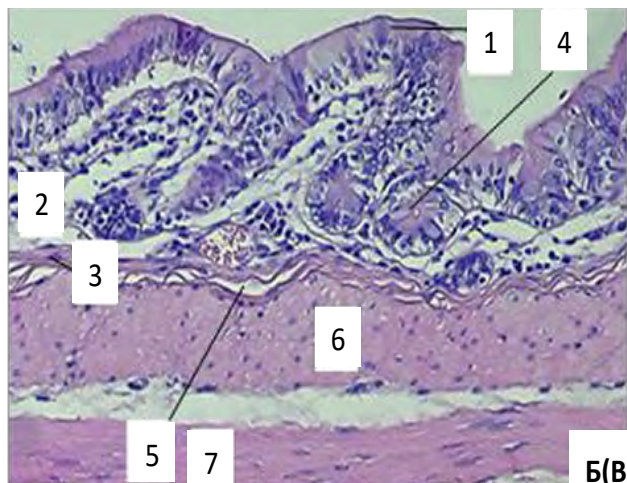
Table 3. Morphometric data of the cecum of rabbits fed with compound feed with the addition of probiotics

Группа	Слизистая оболочка	Крипта	Мышечная пластинка	Подслизистый слой	Мышечная оболочка	Серозная оболочка
1	333,64 ± 7,11	283,96 ± 6,14	22,15 ± 0,99	107,25 ± 7,44	272,9 ± 11,97	12,8 ± 2,03
2	316,28 ± 8,52 ³	275,7 ± 7,98 ³	31,57 ± 3,39 ²	149,25 ± 7,79 ¹	321,2 ± 11,72 ³	14,2 ± 3,15
3	351,43 ± 8,89 ¹	291,59 ± 9,25	20,69 ± 0,83 ¹	130,21 ± 14,07 ¹	275,4 ± 7,57 ¹	12,9 ± 2,23

Примечание: ¹ различия между контрольной и опытной группами достоверны при $p \leq 0,05$; ² различия между контрольной и опытной группами достоверны при $p \leq 0,01$; ³ различия между опытными группами достоверны при $p \leq 0,05$.

Рис. 2. Гистологическое строение слепой кишки кроликов контрольной группы (А), 3-й группы, получавших LB 47f (Б), 2-й группы, получавших «Энзимспорин» (В): 1 — эпителий слизистой оболочки, 2 — собственная пластинка слизистой оболочки, 3 — мышечная пластинка, 4 — крипты слизистой оболочки, 5 — подслизистая оболочка, 6 — внутренний циркулярный мышечный слой, 7 — наружный продольный мышечный слой. Увеличение в 100 раз. Окраска эозином и гематоксилином

Fig. 2. Histological structure of the cecum of rabbits from the control group (A), the 3rd group receiving LB 47f (B), and the 2nd group receiving "Enzymesporin" (C): 1 — epithelium of the mucous membrane, 2 — lamina propria of the mucous membrane, 3 — muscularis propria, 4 — crypts of the mucous membrane, 5 — submucosa, 6 — inner circular muscular layer, 7 — outer longitudinal muscular layer. Magnification 100 times. Stained with eosin and hematoxylin



оболочки у всех групп составляла в среднем 12,8–14,2 мкм.

Таким образом, в опытных группах слепая кишка имеет лучшее развитие по сравнению с контролем.

Показатели морфометрии тощей и слепой кишки при применении как «Энзимспорина», так и штамма LB 47f соответствовали физиологической норме [13, 14].

Замечено, что поддержание благоприятного баланса кишечной микробиоты посредством регулирования состава, разнообразия и активности бактерий благоприятно влияет на здоровье хозяина. Существует ряд исследований, показавших, что пробиотики могут напрямую или косвенно регулировать микробиоту и иммунный ответ организма [4, 6, 7, 15–17].

Введение в рацион стерляди пробиотика LB 47f приводило к достоверному снижению кормового коэффициента. Данный эффект может объясняться способностью ряда бактерий стимулировать выработку собственных пищеварительных ферментов хозяина и возможностью вырабатывать различные питательные субстраты (аминокислоты, витамины и низкомолекулярные жирные кислоты), которые могут усваиваться хозяином [16].

Проведенный на молодняке кроликов опыт по скормливаю пробиотической добавки «Энзимспорин» в дозировке 0,8 кг/т комбикорма показал повышение сохранности и ростовых показателей при одновременном снижении расхода корма на единицу продукции [18]. Гематологические исследования как кроликов, так и других животных показали улучшение метаболических процессов в организме при скормливаю пробиотических добавок «Энзимспорин» и LB 47f [6, 16, 18].

Настоящие исследования демонстрируют, что добавление пробиотиков, особенно *Lactobacillus brevis* 47f (LB 47f), в пищу кроликам способствует увеличению толщины стенки тощей кишки (на 19,09% в группе LB 47f по сравнению с контролем), что свидетельствует о стимуляции роста слизистой оболочки, которая коррелирует с повышением всасывающей способности кишечника. Увеличение высоты ворсинок и глубины крипт (на 21,8% и 25,9%, соответственно, в группе LB 47f) подтверждает усиление секреторной функции кишечника и процессов всасывания, что согласуется с данными других исследований о влиянии пробиотиков на морфологию кишечника [10–12].

Улучшение гистоструктуры слепой кишки (увеличение толщины слизистой и мышечной оболочек) позволяет предположить усиление ее перистальтической и ферментативной активности, что важно для кроликов, у которых в толстой кишке за счет симбиотических микроорганизмов происходит основное расщепление клетчатки. Сходные результаты были получены при скормливаю LB 47f стерляди, у которой мышечная оболочка

кишечника оказалась достоверно толще, чем в контроле. Кроме того, по данным авторов, в слизистой оболочке кишечника было зарегистрировано достоверное увеличение популяции эозинофильных лейкоцитов, участвующих в клеточном иммунном ответе, и бокаловидных клеток в эпителии, что может свидетельствовать о повышении секреторной активности кишечника [16].

LB 47f показал более выраженный эффект, чем «Энзимспорин», что, по-видимому, обусловлено специфической способностью штамма *Lactobacillus brevis* стимулировать пролиферацию эпителия и модулировать местный иммунитет [19]. В свою очередь, «Энзимспорин» может влиять на микробиоту иначе, снижая воспалительные процессы, но не стимулируя пролиферацию клеток.

Таким образом, полученные данные позволяют предположить наличие различных механизмов действия у исследуемых пробиотических препаратов.

Для объяснения большего влияния LB 47f на гистологическую структуру тощей кишки, а «Энзимспорина» — на слепую необходимы дальнейшие исследования.

Выводы/Conclusions

Использование пробиотических добавок «Энзимспорин» и *Lactobacillus brevis* 47f (LB 47f) оказало значимый эффект на морфометрические показатели кишечника кроликов в эксперименте.

Было установлено изменение в толщине некоторых слоев кишечника, зафиксировано увеличение слизистого и подслизистого слоев тощей кишки, а также наблюдалось заметное увеличение высоты ворсинок и размера крипт в обеих опытных группах относительно контрольной на 14,1–21,8% и 18–25,9% соответственно ($p \leq 0,05$). Это может говорить об увеличении площади всасывания питательных веществ, а также об увеличении секреторной активности.

В случае со слепой кишкой данные несколько расходятся. Скормливаю пробиотика «Энзимспорин» оказало влияние на развитие мышечной оболочки, увеличив ее на 14,3% по сравнению с контролем и 3-й опытной группой ($p \leq 0,05$). Это может говорить о более высокой степени развития перистальтических движений слепой кишки кроликов в данной группе. Добавление в рацион пробиотика LB 47f привело к увеличению толщины слизистой оболочки слепой кишки на 5,1% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем, что говорит об увеличении ферментативной активности.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности использования пробиотиков «Энзимспорин» и LB 47f в качестве пищевой добавки для домашних кроликов с целью ускорения обменных процессов и увеличения степени всасывания питательных веществ, поступающих в организм животных вместе с кормом.

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. Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Ермолова Е.М., Ермолов С.М., Неверова О.П., Долгая М.Н. Влияние сорбента и пробиотика на продуктивность цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2025; (2): 108–114. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-108-114>
2. Хазиахметов Ф.С., Хабиров А.Ф., Ребезов М.Б. Влияние пробиотиков «Стимикс Зоостим» и «Нормосил» на обменные процессы и интенсивность роста телят. *Аграрная наука*. 2019; (4): 23–25. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-324-4-23-25>
3. Магомедалиев И.М., Некрасов Р.В., Чабаяев М.Г., Джавахия В.В., Глаголева Е.В., Карташов М.И. Влияние пробиотического комплекса на продуктивные качества и обменные процессы у растущего откармливаемого молодняка свиней. *Аграрная наука*. 2020; (1): 22–26. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-334-1-22-26>
4. Ушакова Н.А., Некрасов Р.В., Правдин И.В., Сверчкова Н.В., Коломиец Э.И., Павлов Д.С. Механизмы влияния пробиотиков на симбиотное пищеварение. *Известия Российской академии наук. Серия: Биологическая*. 2015; (5): 468–476. <https://doi.org/10.7868/S0002332915050136>
5. Романова Е.М., Спирина Е.В., Любомирова В.Н., Романов В.В. Гистологическая характеристика кишечника африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) на фоне использования пробиотика «Споротермин». *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019; (4): 76–82. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-4-76-82>
6. Хорева Т.И., Золотова А.В., Гаффарова В.М., Смородинская С.В., Джавахия В.В., Глаголева Е.В. Влияние пробиотических добавок «Энзимспорин» и *Lactobacillus brevis* 47f на клинические и биохимические показатели крови и мясную продуктивность калифорнийских кроликов. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; (2): 296–302. <https://www.elibrary.ru/jzippcc>
7. Хорева Т.И., Гаффарова В.М., Золотова А.В., Иванов С.С., Климова А.П., Головачева Н.А. Гистофизиология селезенки и печени кроликов при скармливании пробиотиков «Энзимспорин» и *Lactobacillus brevis* 47f. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025; (3): 187–193. <https://www.elibrary.ru/dbpfdw>
8. Saarela M., Lähteenmäki L., Crittenden R., Salminen S., Mattila-Sandholm T. Gut bacteria and health foods—the European perspective. *International Journal of Food Microbiology*. 2002; 78(1–2): 99–117. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00235-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00235-0)
9. Овчарова А.Н. и др. Морфологическая характеристика иммунной системы мышей BALB/c при нарушении состава микрофлоры и коррекции его пробиотиками «Энтероцин» и «Колибактерин». *Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова*. 2009; 17(1): 8–18. <https://www.elibrary.ru/khqftr>
10. Овчарова А.Н., Макарова О.В., Серебряков С.Н., Тихонова Н.Б., Козловский Ю.Е. Влияние колисодержащих пробиотических препаратов на кишечную микрофлору и гистоструктуру тонкой, толстой кишки и органов иммунной системы при экспериментальном первичном дисбиозе у мышей. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2012; (4): 96–107. <https://www.elibrary.ru/pvltlyj>
11. Золотова Н.А., Козловский Ю.Е., Тихонов Е.А., Макарова О.В., Козловская Г.В., Чертович Н.Ф. Морфологическая характеристика слизистой оболочки ободочной кишки у крыс Спрейг-Доули при воздействии пробиотика *Lactobacillus plantarum*. *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2018; (2): 36–41. <https://www.elibrary.ru/xsvomp>
12. Tufarelli V. et al. Effects of a multi-strain probiotic on productive traits, antioxidant defence, caecal microbiota and short-chain fatty acid profile, and intestinal histomorphology in rabbits. *Animal Bioscience*. 2025; 38(6): 1247–1258. <https://doi.org/10.5713/ab.24.0716>
13. Abdel-Khalek A.E., Kalaba Z.M., El-Gogary M.R. Functional, Anatomical and Histological Development of Caecum in Rabbits. *Current Research in Poultry Science*. 2011; 1(2): 54–65. <http://doi.org/10.3923/crpsaj.2011.54.65>
14. Amiry A.F., Kigata T., Shibata H. Wall thickness and mucous cell distribution in the rabbit large intestine. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2019; 81(7): 990–999. <https://doi.org/10.1292/jvms.19-0159>

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. Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Ermolova E.M., Ermolov S.M., Neverova O.P., Dolgaya M.N. The effect of sorbent and probiotic on the productivity of broiler chickens. *Agrarian science*. 2025; (2): 108–114 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-108-114>
2. Khaziakhmetov F.C., Khabirov A.F., Rebezov M.B. Influence of probiotics “Stimix Zoostim” and “Normosil” on exchange processes and intensity of growth of calves. *Agrarian science*. 2019; (4): 23–25 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-324-4-23-25>
3. Magomedaliev I.M., Nekrasov R.V., Chabae M.G., Dzhavakhiya V.V., Glagoleva E.V., Kartashov M.I. Influence of probiotic complex on productive performance and metabolism in growing pigs. *Agrarian science*. 2020; (1): 22–26 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-334-1-22-26>
4. Ushakova N.A., Nekrasov R.V., Pravdin I.V., Sverchkova N.V., Kolomiets E.I., Pavlov D.S. Mechanisms of influence of probiotics on symbiotic digestion. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series: Biological*. 2015; 42(5): 394–400. <https://doi.org/10.1134/S1062359015050131>
5. Romanova E.M., Spirina E.V., Lyubomirova V.N., Romanov V.V. Histological characteristics of guts of African sharp-toothed catfish (*Clarias gariepinus*) in case of sporoterm probiotic application. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019; (4): 76–82 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-4-76-82>
6. Khoreva T.I., Zolotova A.V., Gaffarova V.M., Smorodinskaya S.V., Javakhiya V.V., Glagoleva E.V. Effect of probiotic supplementation Enzymesporin and *Lactobacillus brevis* 47f on clinical and biochemical blood parameters and productivity of Californian rabbits. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; (2): 296–302 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/jzippcc>
7. Khoreva T.I., Gaffarova V.M., Zolotova A.V., Ivanov S.S., Klimova A.P., Golovacheva N.A. Histophysiology of the spleen and liver of rabbits feeding the probiotics “Enzymesporin” and *Lactobacillus brevis* 47f. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2025; (3): 187–193 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/dbpfdw>
8. Saarela M., Lähteenmäki L., Crittenden R., Salminen S., Mattila-Sandholm T. Gut bacteria and health foods—the European perspective. *International Journal of Food Microbiology*. 2002; 78(1–2): 99–117. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00235-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00235-0)
9. Ovcharova A.N. et al. Morphological characteristic of immune system of BALB/c mice after correction microflora disturbances by “Enterocine” and “Colibacterine” probiotics. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2009; 17(1): 8–18 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/khqftr>
10. Ovcharova A.N., Makarova O.V., Serebryakov S.N., Tikhonova N.B., Kozlovsky Yu.N. Effect of coli-probiotic preparations on intestinal microflora and histostucture of small, large intestine and organs of immune system under experimental primary disbiosis in mouse. *Problems of productive animal biology*. 2012; (4): 96–107 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pvltlyj>
11. Zolotova N.A., Kozlovsky Yu.E., Tikhonov E.A., Makarova O.V., Kozlovskaya G.V., Chertovich N.F. Morphological characteristics of the colonic mucosa in the Sprague-Dawley rats under effect of probiotics *Lactobacillus plantarum*. *Clinical and experimental morphology*. 2018; (2): 36–41 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xsvomp>
12. Tufarelli V. et al. Effects of a multi-strain probiotic on productive traits, antioxidant defence, caecal microbiota and short-chain fatty acid profile, and intestinal histomorphology in rabbits. *Animal Bioscience*. 2025; 38(6): 1247–1258. <https://doi.org/10.5713/ab.24.0716>
13. Abdel-Khalek A.E., Kalaba Z.M., El-Gogary M.R. Functional, Anatomical and Histological Development of Caecum in Rabbits. *Current Research in Poultry Science*. 2011; 1(2): 54–65. <http://doi.org/10.3923/crpsaj.2011.54.65>
14. Amiry A.F., Kigata T., Shibata H. Wall thickness and mucous cell distribution in the rabbit large intestine. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2019; 81(7): 990–999. <https://doi.org/10.1292/jvms.19-0159>

15. Liu Y., Wang J., Wu C. Modulation of Gut Microbiota and Immune System by Probiotics, Pre-biotics, and Post-biotics. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 8: 634897.

<https://doi.org/10.3389/fnut.2021.634897>

16. Кочетков Н.И., Никитин Д.Л., Смородинская С.В., Климук А.А., Головачева Н.А. Положительный опыт применения штамма *Lactobacillus brevis* 47f на рыболоводно-биологические, гематологические и гистологические показатели молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*). *Рыбное хозяйство*. 2024; (4): 96–107.

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-4-96-107>

17. Saxelin M., Tynkkynen S., Mattila-Sandholm T., de Vos W.M. Probiotic and other functional microbes: from markets to mechanisms. *Current Opinion in Biotechnology*. 2005; 16(2): 204–211.

<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.003>

18. Курчаева Е.Е., Сафонов В.А., Востроилов А.В., Турусов В.И., Высоцкая Е.А., Олейникова Е.М. Эффективность использования пробиотического препарата «Энзимспорин» при выращивании кроликов. *Ветеринария и кормление*. 2025; (2): 59–65.

<https://doi.org/10.30917/att-vk-1814-9588-2025-2-13>

19. Ouwehand A.C., Kirjavainen P.V., Shortt C., Salminen S. Probiotics: mechanisms and established effects. *International Dairy Journal*. 1999; 9(1): 43–52.

[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(99\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(99)00043-6)

15. Liu Y., Wang J., Wu C. Modulation of Gut Microbiota and Immune System by Probiotics, Pre-biotics, and Post-biotics. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 8: 634897.

<https://doi.org/10.3389/fnut.2021.634897>

16. Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Smorodinskaya S.V., Klimuk A.A., Golovacheva N.A. Effects of dietary *Lactobacillus brevis* 47f on growth performance, hematological and histological parameters of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Fisheries*. 2024; (4): 96–107 (in Russian).

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-4-96-107>

17. Saxelin M., Tynkkynen S., Mattila-Sandholm T., de Vos W.M. Probiotic and other functional microbes: from markets to mechanisms. *Current Opinion in Biotechnology*. 2005; 16(2): 204–211.

<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.003>

18. Kurchaeva E.E., Safonov V.A., Vostroilov A.V., Turusov V.I., Vysotskaya E.A., Oleinikova E.M. The effectiveness of the use of the probiotic drug "Enzymsporin" in the cultivation of rabbits. *Veterinaria i kormlenie*. 2025; (2): 59–65.

<https://doi.org/10.30917/att-vk-1814-9588-2025-2-13>

19. Ouwehand A.C., Kirjavainen P.V., Shortt C., Salminen S. Probiotics: mechanisms and established effects. *International Dairy Journal*. 1999; 9(1): 43–52.

[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(99\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(99)00043-6)

ОБ АВТОРАХ

Анастасия Владимировна Золотова¹

кандидат биологических наук, доцент
avzolotova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2974-6688>

Татьяна Ивановна Хорева¹

старший лаборант
anastacaci@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-8699-2068>

Виктория Марсовна Гаффарова¹

заведующая лабораторией микробиологии
gaff-vik@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-1207-7463>

Станислава Сергеевна Сафонова²

ассистент
Sfalij@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7587-3293>

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет),

ул. Земляной Вал, 73, 109004, Москва, Россия

²Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия

им. К.А. Тимирязева,

ул. Тимирязевская, 49, 127434, Москва, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Anastasia Vladimirovna Zolotova¹

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
avzolotova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2974-6688>

Tatiana Ivanovna Horeva¹

Senior Laboratory Assistant
anastacaci@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-8699-2068>

Victoria Marsovna Gaffarova¹

Head of the Microbiology Laboratory
gaff-vik@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-1207-7463>

Stanislava Sergeevna Safonova²

Assistant
Sfalij@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7587-3293>

¹K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University), 73 Zemlyanoy Val Str., 109004, Moscow, Russia

²Russian Timiryazev State Agricultural University,

49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russia

Е.А. Колесник¹ ✉М.А. Дерхо²М.Б. Ребезов^{3, 4}Г.Г. Швецов¹Е.А. Штакк¹¹Государственный университет
просвещения, Москва, Россия²Южно-Уральский государственный
аграрный университет, Троицк,
Россия³Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова
Российской академии наук, Москва,
Россия⁴Уральский государственный
аграрный университет, Екатеринбург,
Россия

✉ evgeniy251082@mail.ru

Поступила в редакцию: 01.10.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Колесник Е.А., Дерхо М.А.,
Ребезов М.Б., Швецов Г.Г., Штакк Е.А.Evgeniy A. Kolesnik¹ ✉Marina A. Derkho²Maksim B. Rebezov^{3, 4}Gleb G. Shvetsov¹Ekaterina A. Shtakk¹¹Federal State University of Education,
Moscow, Russia²South Ural State Agrarian University,
Troitsk, Russia³Gorbatov Federal Research Center for
Food Systems, Moscow, Russia⁴Ural State Agrarian University,
Yekaterinburg, Russia

✉ evgeniy251082@mail.ru

Received by the editorial office: 01.10.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Kolesnik E.A., Derkho M.A., Rebezov M.B.,
Shvetsov G.G., Shtakk E.A.

Дифференциальные цитофизиологические маркеры эритроидных прекурсоров, зрелых эритроидных клеток и теней эритроидных клеток вследствие эриптоза в организме ЖИВОТНЫХ

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Представлены дифференциальные диагностические маркеры интактных полихроматофильных эритробластов, зрелых эритроцитов и теней эритробластов, теней эритроцитов в нормальной картине периферической крови на модельном организме животных — птиц (*Aves*).

Методы. Морфофизиологическую характеристику эритробластов, эритроцитов и теней эритробластов, теней эритроцитов осуществляли по мазкам крови птиц *Gallus gallus* L. (n = 40, окрашенных по Паппенгейму) от четырех возрастных групп (*Postembryonalis* — P1, P7, P23 и P42: 1, 7, 23 и 42 дня постэмбрионального онтогенеза) промышленного стада. Идентификацию и цитофизиологический анализ теней профиля ядра, цитоплазмы, клетки и неидентифицированных теней клеток выполняли по калиброванным микрофотографиям высокого разрешения (n = 158).

Результаты. В организме модельных животных — птиц — морфологические изменения эритробластов периферического кровотока в результате эриптоза имеют цитофизиологический характер, соответствующий статусу клинически здорового животного. Апоптотические изменения бластных и клеточных форм эритроидного звена в периферическом кровотоке птиц группируются в такие ядерно-цитоплазматические образования различной степени выраженности, как цитоллиз, фрагментация цитоплазмы, кариопикноз, кариорексис, кариолизис, фрагментация хроматина, хроматинолиз, вакуолизация цитоплазмы. Итогом изучения явлений эриптоза в периферическом звене кровотока у птиц явились разработка и формулирование дифференциальных критериев — маркеров теней эритроидных клеток с клиническим, общебиологическим и дидактическим значением.

Ключевые слова: тени клеток, апоптоз, эриптоз, полихроматофильные эритробласты, эритроциты, цитоллиз, фрагментация цитоплазмы, кариопикноз, кариорексис, кариолизис, фрагментация хроматина, хроматинолиз, вакуолизация, морфология крови, цитофизиология, морфофизиология, адаптационный гомеостазис

Для цитирования: Колесник Е.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Швецов Г.Г., Штакк Е.А. Дифференциальные цитофизиологические маркеры эритроидных прекурсоров, зрелых эритроидных клеток и теней эритроидных клеток вследствие эриптоза в организме животных. *Аграрная наука*. 2025; 401(12): 36–43.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-36-43>

Differential cytophysiological markers of erythroid precursors, mature erythroid cells and shadows of erythroid cells in as a result of eryptosis in organism of animals

ABSTRACT

Relevance. Differential diagnostic markers of intact polychromatophilic erythroblasts, mature erythrocytes and erythroblast ghosts, and erythrocyte ghosts in normal peripheral blood are presented in model organism of animals — birds (*Aves*).

Methods. Morphophysiological characterization of erythroblasts, erythrocytes and erythroblast shadows, and erythrocytes shadows was performed using blood smears of *Gallus gallus* L. birds (n = 40, stained with Pappenheim) from four age groups (*Postembryonalis* — P1, P7, P23, and P42: days 1, 7, 23, and 42 of postembryonic ontogenesis) of a industrial herd. Identification and cytophysiological analysis shadows profile nucleus, shadows profile cytoplasm, shadows profile cell, and unidentified cell shadows were performed using calibrated high-resolution micrographs (n = 158).

Results. In a model organism of animals — birds — morphological changes in erythroblasts in the peripheral bloodstream as a result of eryptosis have a cytophysiological character consistent with the status of a clinically healthy animal. Apoptotic changes in blast and cellular forms of the erythroid component in the peripheral bloodstream of birds are grouped into nucleocytoplasmic formations of varying severity, including: cytolysis, cytoplasmic fragmentation, karyopyknosis, karyorrhexis, karyolysis, chromatin fragmentation, chromatinolysis, and cytoplasmic vacuolization. The study of eryptosis in the peripheral bloodstream of birds resulted in the development and formulation of differential criteria — markers of erythroid cell shadows — with clinical, general biological and didactic significance.

Key words: shadow cells, smudge cells, apoptosis, eryptosis, polychromatophilic erythroblasts, erythrocytes, cytolysis, cytoplasm fragmentation, karyopyknosis, karyorrhexis, karyolysis, chromatin fragmentation, chromatinolysis, vacuolization, blood morphology, cytophysiology, morphophysiology, adaptive homeostasis

For citation: Kolesnik E.A., Derkho M.A., Rebezov M.B., Shvetsov G.G., Shtakk E.A. Differential cytophysiological markers of erythroid precursors, mature erythroid cells and shadows of erythroid cells in as a result of eryptosis in organism of animals. *Agrarian science*. 2025; 401(12): 36–43 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-36-43>

Введение/Introduction

В отличие от млекопитающих (*Mammalia*), для организма птиц (*Aves*) физиологической нормой является циркуляция в периферическом кровотоке эритробластов разной степени зрелости [1–5] и теней эритробластов [4, 5], теней эритроцитов [4, 5], являющихся следствием адаптационного гомеостазиса [6–14]. Так, регулярное появление эритробластов и теней эритроидных клеток в периферическом кровотоке у млекопитающих, оцениваемое в полях зрения при светооптической микроскопии мазков периферической крови, может свидетельствовать о формах анемии в острой фазе [15, 16] и злокачественном перерождении в системе красной крови, то есть раке красного роста крови [17–19].

В общебиологическом аспекте необходимо отметить то, что особенности морфологии и физиологии организма птиц во многом интересны тем, что данная систематическая группа животных объединяет в своей природе структуры прогрессивных пресмыкающихся (*Reptilia*) — динозавров (*Dinosauria*) — с опорно-двигательным аппаратом, имеющим вариации адаптаций к тетраподности (четырехногости), диподности (двуногости), воспроизведенных у птиц, адаптаций скелета к полету, прогрессивно развитый головной мозг, в том числе структуры мозжечка в сравнении с амфибиями (*Amphibia*), обеспечивающие развитую координацию локомоции в пространстве ареала, и имеют такие ароморфозы, как полноценное четырехкамерное сердце, интенсивный углеводный и липидный метаболизм, что в итоге филогенетически отразилось у птиц в гомойотермности (теплокровности).

Теплокровность явилась исходом и одновременно реализацией биофизических звеньев функциональной системы адаптационного гомеостаза у пернатых, существенно расширив приспособительные возможности организма птиц в освоении экологических ниш. Тем самым у птиц реализовались ароморфозы, имеющие черты конвергентной эволюции с млекопитающими [20] от рептилий. При этом возникшие биохимические, биофизические и физиологические потребности организма птиц в более интенсивном энергетическом метаболизме, газообмене и буферных свойствах в регуляции кислотно-основного равновесия полноценно обеспечились системой крови [21–24]. Эти приспособительные черты гомеостаза у птиц отразились в интенсификации прежде всего митохондриального синтеза гема, синтеза глобиновых цепочек в молекулярной сборке гемоглобина в цитоплазме эритроидных клеток [2–4].

Соответствующая вышеотмеченным адаптациям филогенетическая и далее онтогенетическая активация жизненного цикла эритробластов (лат. *Erythroblastus* — эквивалентный синоним нормобластов лат. *Normoblastus* [3]),

созревающих и зрелых эритроцитов, в итоге отразилась на повышении апоптоза, то есть эриптоза (*eryptosis*) [4, 5].

Активный эриптоз — нормальная генетически запрограммированная гибель интенсивно «отработавших» свой жизненный цикл эритроидных клеток с обязательным образованием морфофизиологических структур — теней, то есть структурных остатков бластных и клеточных форм, является важным методическим критерием для дифференциальной характеристики системы крови в практике клинической лабораторной диагностики [25–29].

Изыскания реакций процесса эриптоза на субклеточном и молекулярном уровнях, связанные с ролью плазмолеммы эритроидных клеток (и (или) бластов) [30–34] и дистрофических изменений внутриклеточного обмена веществ, нашли отражение в изучении устойчивости системы крови к действию эндогенных, экзогенных биотических и абиотических факторов и в разработке таргетной терапии злокачественных новообразований [35–39].

Причинно-следственное понимание явления и процесса эриптоза важно в дидактическом аспекте при обучении учащихся школ, колледжей, университетов, аспирантов по медико-биологической направленности в общебиологических компетенциях, специальностях биологических, ветеринарной и гуманитарной медицины.

Подчеркнем, что термин «эриптоз» как специальная разновидность апоптоза (*apoptosis*) эритроидных бластов и клеток был введен в научный обиход сравнительно недавно [25–29], хотя исследования по теням эритроидных клеток имеют продолжительную эмпирическую историю [30].

Специальные исследования, непосредственно посвященные вопросам морфофизиологических изменений эритробластов и эритроцитов вследствие эриптоза, малочисленны [5, 19, 29, 31].

Цель работы — экспериментально-аналитическая разработка дифференциальных критериев цитофизиологических маркеров производных эриптоза — теней прекурсоров (предшественников) зрелых эритроцитов, то есть эритробластов и теней нормоцитов, то есть теней зрелых эритроцитов (рис. 1).

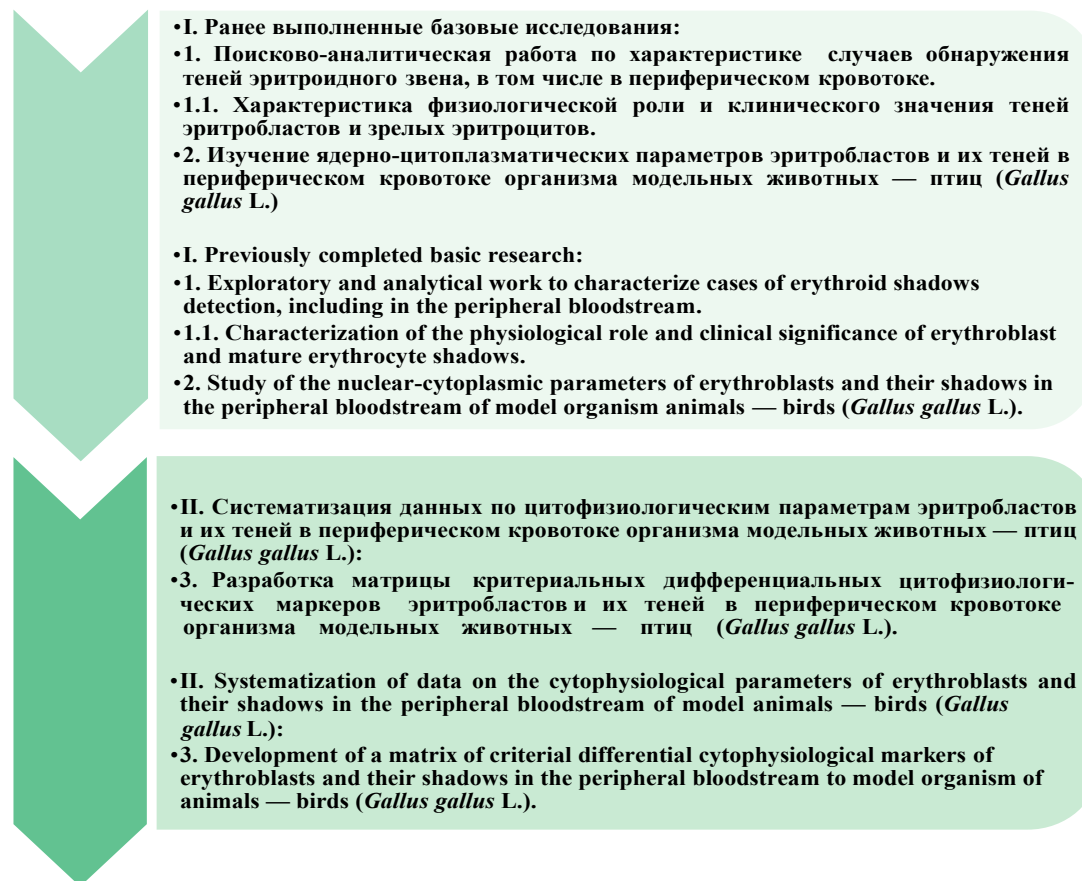
Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальная часть работы выполнена на ООО «Чибаркульская птица» (Чибаркульский р-н, Челябинская обл., Россия).

Объектом исследования служили бройлерные цыплята *Gallus gallus* L. кросса *Hubbard ISA F15* промышленного стада, из которых в цехе выращивания (клеточное содержание), согласно принципам случайной выборки и сбалансированных групп, сформировали четыре группы ($n = 40$).

Рис. 1. Схема исследования

Fig. 1. Study scheme



Возраст цыплят в каждой из групп составил 1, 7, 23 и 42 дня постэмбрионального онтогенеза (*Postembryonalis*) — P1, P7, P23 и P42 соответственно.

Экспериментальные группы кур *Gallus gallus* L. по *Anamnesis vitae* клинически (*status praesens*) соответствовали *fusce sanitas status* — статусу здоровых животных.

Кормление и содержание цыплят осуществляли в соответствии с зооигиеническими нормами согласно рекомендациям¹.

Выполненные исследования соответствуют принципам гуманного обращения с подопытными животными, изложенным в директивах Европейского парламента и Совета ЕС по охране животных, используемых в научных целях (директива № 2010/63/EU)².

Материалом исследований служила цельная кровь, которую собирали в стандартизированные вакуумные пробирки с ЭДТА путем декапитации цыплят-бройлеров в суточном и 7-суточном возрасте и прижизненно — пункцией подкрыльцовой вены у 23- и 42-дневных цыплят [3–5]. Окраску мазков крови производили по Паппенгейму (A. Pappenheim) [3–5]. Микрофотографии были получены с помощью биологического микроскопа

МББ-1А («ЛОМО», Россия), оснащенного микрографической окулярной видеокамерой с матрицей разрешением 5 мегапикселей (Full HD High resolution HAYEAR CMOS 5.0 Megapixel microscope video camera, Китай) с визуализацией в программе TourView³ (TourTek Photonics, Китай) [3–5], с построенной светодиодной системой освещения микропрепаратов белым спектром (реализован принцип Кёлера (A. Köhler) [3–5]).

Для наиболее качественного изображения клеток крови применяли 90-кратный апохроматический объектив масляной иммерсии с апертурой 1,3 («ЛОМО», Россия), который позволяет получать микрофотографии со специальной коррекцией хроматических аберраций. Калибровку видеокамеры проводили по шкале объект-микрометра для проходящего света с ценой деления 0,01 мм («ОМП», «ЛОМО», Россия) в программе TourView. На предмет изучения учитываемых клеток крови и теней клеток проведен анализ 158 (n = 158) выполненных микрофотографий полей зрения с форменными элементами периферической крови.

В программе TourView определяли масштаб изображений, на микрофотографиях размещали масштабную линейку с ценой деления в 10

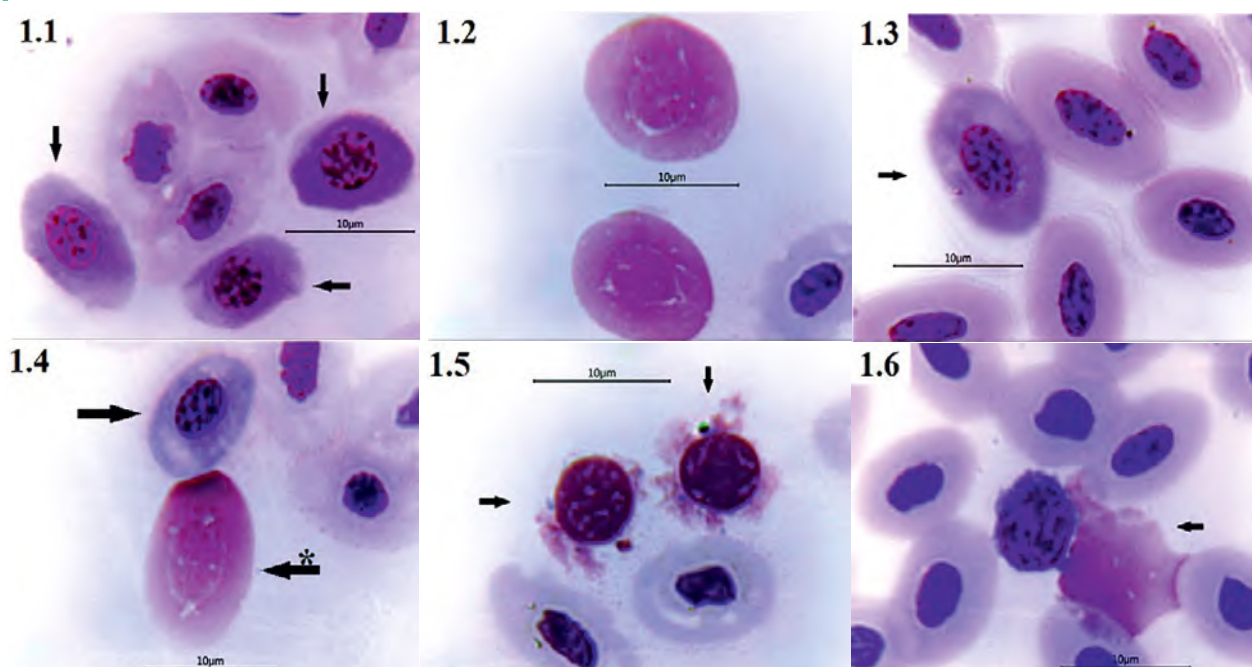
¹ Руководство Hubbard ISA.
<http://hubbardbreeders.com>

² Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.
https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

³ <http://www.touptek.com>

Рис. 2. Периферическая кровь цыплят *Gallus gallus* L., возраст птиц указан в сутках (сут.), гематологическая окраска по Паппенгейму, цена деления масштабной линейки микрофотографий 10 микрометров (10 μ m). На микрофотографиях представлены: 1.1 — предшественники (прекурсоры) зрелых эритроцитов — полихроматофильные эритробласты, показанные стрелкой, и зрелые эритроциты (1-е сут.); 1.2 — тени эритробластов, структурированные формами с профилем тени «цитоплазмы», «ядра» и «клетки», и зрелый эритроцит (23-е сут.); 1.3 — полихроматофильный эритроцит (нормоцит), показанный стрелкой, и зрелые эритроциты (7-е сут.); 1.4 — полихроматофильный эритроцит (нормоцит), показанный стрелкой, тень эритробласта, структурированная формами с профилем тени «цитоплазмы», «ядра» и «клетки», показанная стрелкой со звездочкой, и зрелые эритроциты (1-е сут.); 1.5 — неидентифицированные тени, структурированные с профилем тени «ядра», показанные стрелкой, и зрелые эритроциты (23-е сут.); 1.6 — неидентифицированная аморфная тень, показанная стрелкой, зрелые эритроциты и малый лимфоцит (42-е сут.)

Fig. 2. Peripheral blood of *Gallus gallus* L. chickens, the age of birds is indicated in days (days), Pappenheim hematological staining, the price of dividing a scale line of micrographs of 10 micrometers (10 μ m). The micrographs show: 1.1 — precursors of mature erythrocytes — polychromatophilic erythroblasts, shown by an arrow, and mature erythrocytes (Day 1); 1.2 — shadows of erythroblasts, structured in shapes with a shadow profile of "cytoplasm", "nuclei" and "cells", and mature erythrocyte (Day 23); 1.3 — polychromatophilic erythrocyte (normocyte), shown by an arrow, and mature erythrocytes (Day 7); 1.4 — polychromatophilic erythrocyte (normocyte), shown by an arrow, the shadow of the erythroblast, structured by shapes with the profile of the shadow of the "cytoplasm", "nucleus" and "cells", shown by an arrow with an asterisk, and mature erythrocytes (Day 1); 1.5 — unidentified shadows structured with the shadow profile of the "nucleus", shown by an arrow, and mature erythrocytes (day 23); 1.6 — unidentified amorphous shadow, shown by an arrow, mature erythrocytes and a small lymphocyte (day 42)



микрометров (μ m) (рис. 2). Ранее по данным эритроидным формам определяли ядерно-цитоплазматические параметры с соответствующей проверкой экспериментальных данных методами математического анализа на нормальность распределения и определения степени отличия величин выборок от генеральной совокупности (рис. 1) [5].

Собственно, текущее исследование включало аналитическую работу по выявлению и характеристике с систематизацией дифференциальных критериев маркеров теней эритробластов, неидентифицированных теней клеток, в сравнительном аспекте с интактными эритробластами в периферическом кровотоке организма модельных животных — птиц *Gallus gallus* L. (рис. 1).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Тени эритроидных клеток [2–4] образуются в результате эриптоза — специального типа апоптоза клеток (рис. 2) [5, 25, 26].

Направления апоптотических изменений структуры бластных и клеточных форм в перифери-

ческой крови кур обусловлены метаболитными, в том числе адаптационными, реакциями на организмном, системном, тканевом и клеточном уровнях [2–7, 9, 10, 22, 23]. Характер формирования эриптозных изменений на бластном (или) клеточном, субклеточном уровнях в целом у птиц обусловлен высокоинтенсивным обменом веществ и стадийностью онтогенетических реакций адаптационного гомеостаза [5, 7, 22].

Цитофизиологические изменения бластов и клеток в результате апоптоза (в основе своей эриптоза) группируются в критерии с морфологическими признаками по структуре профиля «ядра», «цитоплазмы», формы, то есть контуров «клетки» в различной степени выраженности (рис. 2, табл. 1) [5].

Идентифицируемые и неидентифицируемые тени бластов и клеток в периферическом кровотоке у птиц нередко имеют профили «вакуолей» с различной степенью сформированности (рис. 2, табл. 1) [5].

Тотальный окрас данных апоптотических образований при применении стандартизированного гистологического пигментного протокола по

Таблица 1. Матрица критериальных дифференциальных маркеров теней эритроидных прекурсоров и неидентифицированных теней в периферической крови кур *Gallus gallus* L. (n = 158)

Table 1. Matrix of criterial differential markers of shadows erythroid precursor and unidentified shadows in the peripheral blood of chickens *Gallus gallus* L. (n = 158)

Критериальный дифференциальный маркер (Criterial differential marker)		Цитофизиологическая гематологическая группа (Cytophysiological hematological group)	
		1. Структурированная тень эритробластов (Structured shadow of erythroblasts)	2. Неидентифицированная тень эритроидных клеток (Unidentified shadow of erythroid cells)
1. Группы (Groups)	1.1.1. Структурированная форма с профилем тени «ядра» (Structured form with profile a shadow of “nucleus”)	+	+/-
	1.1.2. Структурированная форма с профилем тени «цитоплазмы» (Structured form with profile a shadow of “cytoplasm”)	+	+/-
	1.1.3. Структурированная форма с профилем тени «клетки» (Structured form with profile a shadow of “cell”)	+	-
	1.2. Цитолиз (Cytolysis)	+	+
	1.2.1. Фрагментация цитоплазмы (Cytoplasm fragmentation)	-	+
	1.4. Кариопикноз (Karyopyknosis)	-	+/-
	1.5. Кариорексис (Karyorrhexis)	-	+/-
	1.6. Кариолизис (Karyolysis)	+	+
	1.6.1. Фрагментация хроматина (Chromatin fragmentation)	-	+/-
2. Межгрупповой (Intergroup)	2.1. Хроматинолиз (Chromatinolysis)	+	+
	2.2. Окрас светло-пурпурного цвета с красноватым оттенком (The color is light purple with a reddish tint)	+	+
	2.3.1. Вакуолизация цитоплазмы с аморфным типом тени цитоплазмы (Vacuolization of the cytoplasm with an amorphous type a shadow of cytoplasm)	+/-	+/-
	2.3.2. Вакуолизация цитоплазмы с губчатоподобным типом тени цитоплазмы (Vacuolization of the cytoplasm with an sponge-like type a shadow of cytoplasm)	+/-	+/-

Паппенгейму [3] — светло-пурпурного цвета с красноватым оттенком; то есть структура данных теней воспринимает преимущественно пигмент эозин и имеет характер реакции среды ближе к щелочному (рис. 2, табл. 1) [5].

Эриптоз у птиц является прежде всего следствием и показателем онтогенетических адаптаций гомеостаза [4–7, 10, 22, 23]. Эриптоз у позвоночных (*Vertebrata*), включая человека, может быть следствием адаптационных реакций организма к действию экзогенных и эндогенных факторов, проявляющихся в системе крови [17, 39, 40].

Выводы/Conclusions

1. В организме птиц, в частности кур, формирования морфологических изменений эритробластов периферического кровотока в результате эриптоза имеют цитофизиологический, то есть нормальный, характер.

2. Апоптотические изменения бластных и клеточных форм эритроидного звена в периферическом кровотоке кур группируются в эриптозные профили «ядерно-цитоплазматических» образований и контуры «клеток» с различной степенью выраженности.

Таким образом, по результатам изучения явлений эриптоза в периферическом звене кровотока у птиц были разработаны и сформулированы дифференциальные критерии — маркеры теней эритроидных клеток, имеющих клиническое, общепатологическое и дидактическое значение.

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. Bhattacharjee A. Avian Erythrocytes and Agranulocytes — a Review. *Science Reviews — Biology*. 2023; 2(2): 21–29. <https://doi.org/10.57098/SciRevs.Biology.2.2.2>
2. Липунова Е.А., Скоркина М.Ю. Система красной крови: сравнительная физиология. Монография. Белгород: Изд-во БелГУ. 2004; 216.
3. Колесник Е.А., Дерхо М.А. Характеристика проблематики морфофизиологии клеток крови неонатального онтогенеза кур. Сообщение II. Характеристика дифференциальных морфофизиологических маркеров форменных элементов крови птиц. *АПК России*. 2019; 26(4): 644–652. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4385940>

REFERENCES

1. Bhattacharjee A. Avian Erythrocytes and Agranulocytes — a Review. *Science Reviews — Biology*. 2023; 2(2): 21–29. <https://doi.org/10.57098/SciRevs.Biology.2.2.2>
2. Lipunova E.A., Skorkina M.Yu. The red blood system. Comparative physiology. Monograph. Belgorod: *Belgorod State University Publishing House*. 2004; 216 (in Russian).
3. Kolesnik E.A., Derkho M.A. Characterizing the morphophysiology problems of blood cells of chickens' neonatal ontogenesis. Report II. Characterizing the differential morphophysiological markers of chickens' blood cells. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2019; 26(4): 644–652 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4385940>

4. Колесник Е.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б. Функциональные морфоденситометрические параметры хроматина ядра и цитоплазмы эритробластов и эритроцитов птиц в постэмбриональном онтогенезе. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(1): 59–85. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85>
5. Колесник Е.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б. Формы дегенерации клеток крови, их физиологическое и клиническое значение, механизмы образования, тени клеток в мазках крови птиц. *Аграрная наука*. 2024; 378(1): 65–74. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-65-74>
6. Цыганков Е.М., Менькова А.А., Алейников И.М. Профилактика стрессов в мясном птицеводстве. Брянск: *Брянский государственный аграрный университет*. 2025; 173.
7. Колесник Е.А. Термин, понятие об адапционном гомеостазисе, его гипотеза, теория и практика. *Системный анализ в медицине (CAM 2022). Материалы XVI Международной научной конференции*. Благовещенск: *Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания*. 2022; 13–16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7676415>
8. Hammouche D., Mouss A.K., Meziane R., Ikhlef H. Study of the Physiological Responses of Two Strains of Laying Hens under Thermal Challenge. *Biology and Life Sciences Forum*. 2024; 36(1): 3. <https://doi.org/10.3390/blsf2024036003>
9. Hammouche D., Mouss A.K., Meziane R. Impact of climate change on thermoregulation, blood attributes and production performance in laying hens. *Journal of Livestock Science and Technologies*. 2025; 13(1): 39–46. <https://doi.org/10.22103/jlst.2024.23828.1555>
10. Xue G. *et al.* Intermittent mild cold stimulation improves the immunity and cold resistance of spleens in broilers. *Poultry Science*. 2021; 100(12): 101492. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101492>
11. Yusifova A., Aslanova S., Asadova B., Mammadova I., Safarova A. Effect of micronutrients on the peculiarities of growth and development of maize plants. *International Journal of Biosciences*. 2025; 26(6): 55–60. <https://dx.doi.org/10.12692/ijb/26.6.55-60>
12. Gunawan R.A., Sunarno S., Djaelani M.A., Kasiyati K. Leukocyte Profile of Broiler Chickens (*Gallus domesticus*) After Consumption of Feed With Spirulina (*Spirulina* sp.) Feed Additives and Liquid Nano Chitosan. *AL-Kauniyah: Jurnal Biologi*. 2025; 18(2): 303–317. <https://doi.org/10.15408/kauniyah.v18i2.40513>
13. Lestari D. *et al.* Disease resistance traits of IPB-D2 chickens: Characterization of IgY concentrations, Newcastle disease antibody titers, and leukocyte profiles. *Veterinary World*. 2025; 18(1): 172–177. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.172-177>
14. Kolokolnikova T., Dymkov A., Borisenko S., Kavtarashvili A. Method of Increasing Bird Adaptation in the Early Stages of Embryogenesis. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector (TFTS 2019)*. 2020; 393: 399–402. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.211>
15. Diwan A., Koesters A.G., Capella D., Geiger H., Kalfa T.A., Dorn II G.W. Targeting erythroblast-specific apoptosis in experimental anemia. *Apoptosis*. 2008; 13(8): 1022–1030. <https://doi.org/10.1007/s10495-008-0236-3>
16. Liu S., Tsyplenkova S., Fillebeen C., Pantopoulos K. Hypoferremic Response to Chronic Inflammation Is Controlled via the Hemojuvelin / Heparin / Ferroportin Axis and Does Not Involve Heparin-Independent Regulation of Fpn mRNA. *American Journal of Hematology*. 2025; 100(8): 1323–1333. <https://doi.org/10.1002/ajh.27710>
17. Hristoskova S., Holzgreve W., Hahn S., Rusterholz C. Human mature erythroblasts are resistant to apoptosis. *Experimental Cell Research*. 2007; 313(5): 1024–1032. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2006.12.018>
18. Чумакова С.П., Уразова О.И., Зима А.П., Новицкий В.В. Особенности физиологии эритроцитов. Гемолиз и эритроцитоз. *Гематология и трансфузиология*. 2018; 63(4): 343–351. <https://doi.org/10.25837/HAT.2019.51.80.003>
19. Dehghan S., Kheshtchin N., Hassannezhad Sh., Soleimani M. Cell death classification: A new insight based on molecular mechanisms. *Experimental Cell Research*. 2023; 433(2): 113860. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2023.113860>
20. Никитина А.Р., Зиякаева К.Р., Каюмова А.Ф., Шамратова В.Г. Оптические и морфометрические характеристики нейтрофилов крови крыс в условиях воздействия медно-цинковой колчеданной руды. *Журнал медико-биологических исследований*. 2025; 13(2): 222–232. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z244>
21. Череменина Н.А., Веремеева С.А., Краснolocboва Е.П. Биохимические показатели крови индеек мясного кросса в период роста. *Вестник КрасГАУ*. 2025; 218(5): 155–168. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-5-155-168>
4. Kolesnik E.A., Derkho M.A., Rebezov M.B. Functional morpho-densitometric parameters of chromatin of the nucleus and cytoplasm of erythroblasts and red blood cells of birds in postembryonic ontogenesis. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(01): 59–85 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85>
5. Kolesnik E.A., Derkho M.A., Rebezov M.B. Forms of degeneration of blood cells, their physiological and clinical significance, mechanisms of formation, shadows of cells in blood smears of birds. *Agrarian science*. 2024; 378(1): 65–74 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-65-74>
6. Tsygankov E.M., Menkova A.A., Aleinikov I.M. Stress prevention in poultry farming. Bryansk: *Bryansk State Agrarian University*. 2025; 173 (in Russian).
7. Kolesnik E.A. Term, concept of adaptive homeostasis, its hypothesis, theory and practice. *System Analysis in Medicine (CAM 2022). Proceedings of the XVI International Scientific Conference*. Blagoveshchensk: *Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration*. 2022; 13–16 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7676415>
8. Hammouche D., Mouss A.K., Meziane R., Ikhlef H. Study of the Physiological Responses of Two Strains of Laying Hens under Thermal Challenge. *Biology and Life Sciences Forum*. 2024; 36(1): 3. <https://doi.org/10.3390/blsf2024036003>
9. Hammouche D., Mouss A.K., Meziane R. Impact of climate change on thermoregulation, blood attributes and production performance in laying hens. *Journal of Livestock Science and Technologies*. 2025; 13(1): 39–46. <https://doi.org/10.22103/jlst.2024.23828.1555>
10. Xue G. *et al.* Intermittent mild cold stimulation improves the immunity and cold resistance of spleens in broilers. *Poultry Science*. 2021; 100(12): 101492. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101492>
11. Yusifova A., Aslanova S., Asadova B., Mammadova I., Safarova A. Effect of micronutrients on the peculiarities of growth and development of maize plants. *International Journal of Biosciences*. 2025; 26(6): 55–60. <https://dx.doi.org/10.12692/ijb/26.6.55-60>
12. Gunawan R.A., Sunarno S., Djaelani M.A., Kasiyati K. Leukocyte Profile of Broiler Chickens (*Gallus domesticus*) After Consumption of Feed With Spirulina (*Spirulina* sp.) Feed Additives and Liquid Nano Chitosan. *AL-Kauniyah: Jurnal Biologi*. 2025; 18(2): 303–317. <https://doi.org/10.15408/kauniyah.v18i2.40513>
13. Lestari D. *et al.* Disease resistance traits of IPB-D2 chickens: Characterization of IgY concentrations, Newcastle disease antibody titers, and leukocyte profiles. *Veterinary World*. 2025; 18(1): 172–177. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.172-177>
14. Kolokolnikova T., Dymkov A., Borisenko S., Kavtarashvili A. Method of Increasing Bird Adaptation in the Early Stages of Embryogenesis. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector (TFTS 2019)*. 2020; 393: 399–402. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.211>
15. Diwan A., Koesters A.G., Capella D., Geiger H., Kalfa T.A., Dorn II G.W. Targeting erythroblast-specific apoptosis in experimental anemia. *Apoptosis*. 2008; 13(8): 1022–1030. <https://doi.org/10.1007/s10495-008-0236-3>
16. Liu S., Tsyplenkova S., Fillebeen C., Pantopoulos K. Hypoferremic Response to Chronic Inflammation Is Controlled via the Hemojuvelin / Heparin / Ferroportin Axis and Does Not Involve Heparin-Independent Regulation of Fpn mRNA. *American Journal of Hematology*. 2025; 100(8): 1323–1333. <https://doi.org/10.1002/ajh.27710>
17. Hristoskova S., Holzgreve W., Hahn S., Rusterholz C. Human mature erythroblasts are resistant to apoptosis. *Experimental Cell Research*. 2007; 313(5): 1024–1032. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2006.12.018>
18. Chumakova S.P., Urazova O.I., Zima A.P., Novitsky V.V. Features of the Physiology of Erythrocytes. Hemolysis and Eryptosis. *Russian journal of hematology and transfusiology*. 2018; 63(4): 343–351 (in Russian). <https://doi.org/10.25837/HAT.2019.51.80.003>
19. Dehghan S., Kheshtchin N., Hassannezhad Sh., Soleimani M. Cell death classification: A new insight based on molecular mechanisms. *Experimental Cell Research*. 2023; 433(2): 113860. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2023.113860>
20. Nikitina A.R., Ziyakaeva K.R., Kayumova A.F., Shamratova V.G. Optical and Morphometric Parameters of Neutrophils in Rats Exposed to Copper-Zinc Pyrite Ore. *Journal of Medical and Biological Research*. 2025; 13(2): 222–232 (in Russian). <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z244>
21. Cheremenina N.A., Veremeeva S.A., Krasnolocbova E.P. Biochemical blood parameters of meat-cross turkeys during the growth period. *Vestnik KrasSAU*. 2025; 218(5): 155–168 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-5-155-168>

22. Tang X. *et al.* Cecal microbiota transplantation enhances calcium retention through modulation of gut microbiota and intestinal calcium transporter gene expression in chicks. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105437. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105437>
23. Vokhidova N.R., Ergashev K.X., Ibragimov D., Rashidova S.Sh. Chitosan hydroxyapatite: physic-chemical properties and its effect on the growth and development of broiler chickens. *Journal of World's Poultry Research*. 2023; 13(2): 233–243. <https://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2023.26>
24. Seewald A., Zhong J., Siri M., Fratzl P., Raguin E. Three-dimensional imaging of vasculature and forming quail femur using cryocorrelative light and electron microscopy (cryo-CLEM). *Faraday Discussions*. 2025; 261: 430–445. <https://doi.org/10.1039/d5fd00022j>
25. Lang F., Qadri S.M. Mechanisms and significance of eryptosis, the suicidal death of erythrocytes. *Blood Purification*. 2012; 33(1-3): 125–130. <https://doi.org/10.1159/000334163>
26. Tkachenko A. Apoptosis and eryptosis: similarities and differences. *Apoptosis*. 2024; 29(3-4): 482–502. <https://doi.org/10.1007/s10495-023-01915-4>
27. Tkachenko A., Havranek O. Erythronectrosis: an overview of necroptosis or programmed necrosis in red blood cells. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 2024; 479(12): 3273–3291. <https://doi.org/10.1007/s11010-024-04948-8>
28. Tkachenko A. Is eryptosis druggable? *Annals of Hematology*. 2024; 103(5): 1791–1792. <https://doi.org/10.1007/s00277-024-05713-z>
29. Каменская Т.В., Гончарова Н.В., Клименкова О.В., Игнацкая А.Ю., Карпенко Ф.Н. Показатели эриптоза донорских эритроцитов на разных сроках хранения и при различных методах заготовки. *Гематология. Трансфузиология. Восточная Европа*. 2025; 11(1): 27–34. <https://doi.org/10.34883/PI.2025.11.1.011>
30. Ismailov E.Sh. Infrared spectra of erythrocyte shadows in the region of the amide I and amide II bands following microwave irradiation. *Biofizika*. 1976; 21(5): 940–942. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1022261/>
31. Pyrshev K.A., Klymchenko A.S., Csucs G., Demchenko A.P. Apoptosis and eryptosis: Striking differences on biomembrane level. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Biomembranes*. 2018; 1860(6): 1362–1371. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2018.03.019>
32. Боронихина Т.В., Ломановская Т.А., Яцковский А.Н. Плазмолемма эритроцитов и ее изменения в течение жизни клеток. *Журнал анатомии и гистопатологии*. 2021; 10(2): 62–72. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2021-10-2-62-72>
33. Астахов А.А., Казарцев В.В., Кучкин К.В., Barg J. Ионоселективные электроды для измерения калия в эритроцитах: модель клинической интерпретации результатов (пилотное исследование). *Современные технологии в медицине*. 2022; 14(3): 42–49. <https://doi.org/10.17691/stm2022.14.3.05>
34. Ишутина Н.А., Андриевская И.А., Дорофиев Н.Н., Кутепова О.Л., Медведева С.В. Молекулярные эффекты эритропоэтина на липидный состав мембраны эритроцитов крови пуповины новорожденных при цитомегаловирусной инфекции в период беременности. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2019; 71: 88–93. https://doi.org/10.12737/article_5c89a90227a213.58230200
35. Tong X. *et al.* Targeting cell death pathways for cancer therapy: recent developments in necroptosis, pyroptosis, ferroptosis, and cuproptosis research. *Journal of Hematology and Oncology*. 2022; 15(1): 1–32. <https://doi.org/10.1186/s13045-022-01392-3>
36. Niu C., Zhang J. Immunoregulation role of the erythroid cells. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1466669. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1466669>
37. Шкробова Н.В., Махонько М.Н., Шарипов Д.Г., Мустафаев П.В. огул, Шелехова Т.В. Токсическое влияние свинца на работников, подвергшихся его воздействию. *Тенденции развития науки и образования*. 2024; 105-9: 70–75. <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2024-442>
38. Perrone P. *et al.* Protective effects of olive oil antioxidant phenols on mercury-induced phosphatidylserine externalization in erythrocyte membrane: Insights into scramblase and flippase activity. *Free Radical Biology & Medicine*. 2025; 227: 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2024.11.047>
39. Alajeyan I.A., Alsughayyir J., Alfihli M.A. Zeatin Elicits Premature Erythrocyte Senescence Through Calcium and Oxidative Stress Mediated by the NOS/PKC/CK1 α Signaling Axis. *Dose-Response*. 2025; 23(1): 15593258251314825. <https://doi.org/10.1177/15593258251314825>
22. Tang X. *et al.* Cecal microbiota transplantation enhances calcium retention through modulation of gut microbiota and intestinal calcium transporter gene expression in chicks. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105437. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105437>
23. Vokhidova N.R., Ergashev K.X., Ibragimov D., Rashidova S.Sh. Chitosan hydroxyapatite: physic-chemical properties and its effect on the growth and development of broiler chickens. *Journal of World's Poultry Research*. 2023; 13(2): 233–243. <https://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2023.26>
24. Seewald A., Zhong J., Siri M., Fratzl P., Raguin E. Three-dimensional imaging of vasculature and forming quail femur using cryocorrelative light and electron microscopy (cryo-CLEM). *Faraday Discussions*. 2025; 261: 430–445. <https://doi.org/10.1039/d5fd00022j>
25. Lang F., Qadri S.M. Mechanisms and significance of eryptosis, the suicidal death of erythrocytes. *Blood Purification*. 2012; 33(1-3): 125–130. <https://doi.org/10.1159/000334163>
26. Tkachenko A. Apoptosis and eryptosis: similarities and differences. *Apoptosis*. 2024; 29(3-4): 482–502. <https://doi.org/10.1007/s10495-023-01915-4>
27. Tkachenko A., Havranek O. Erythronectrosis: an overview of necroptosis or programmed necrosis in red blood cells. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 2024; 479(12): 3273–3291. <https://doi.org/10.1007/s11010-024-04948-8>
28. Tkachenko A. Is eryptosis druggable? *Annals of Hematology*. 2024; 103(5): 1791–1792. <https://doi.org/10.1007/s00277-024-05713-z>
29. Kamenskaya T.V., Goncharova N.V., Klimenkova O.V., Ihnatskaya A.Yu., Karpenko F.N. Eryptosis Indicators of Donor Erythrocytes at Different Storage Periods and Types of Blood Component Collection. *Hematology. Transfusiology. Eastern Europe*. 2025; 11(1): 27–34 (in Russian). <https://doi.org/10.34883/PI.2025.11.1.011>
30. Ismailov E.Sh. Infrared spectra of erythrocyte shadows in the region of the amide I and amide II bands following microwave irradiation. *Biofizika*. 1976; 21(5): 940–942. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1022261/>
31. Pyrshev K.A., Klymchenko A.S., Csucs G., Demchenko A.P. Apoptosis and eryptosis: Striking differences on biomembrane level. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Biomembranes*. 2018; 1860(6): 1362–1371. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2018.03.019>
32. Boronikhina T.V., Lomanovskaya T.A., Yatskovsky A.N. Erythrocyte Plasmalemma and Its Changes During the Cell Lifespan. *Journal of Anatomy and Histopathology*. 2021; 10(2): 62–72 (in Russian). <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2021-10-2-62-72>
33. Astakhov A.A., Kazartsev V.V., Kuchkin K.V., Barg J. Ion-Selective Electrodes for Measuring Potassium in Erythrocytes: a Model for Clinical Interpretation of the Results (a Pilot Study). *Modern Technologies in Medicine*. 2022; 14(3): 42–49 (in Russian). <https://doi.org/10.17691/stm2022.14.3.05>
34. Ishutina N.A., Andrievskaya I.A., Dorofienko N.N., Kutepova O.L., Medvedeva S.V. Molecular effects of erythropoietin on the lipid composition of the umbilical cord blood erythrocyte membranes of newborns at cytomegalovirus infection in pregnancy. *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*. 2019; 71: 88–93 (in Russian). https://doi.org/10.12737/article_5c89a90227a213.58230200
35. Tong X. *et al.* Targeting cell death pathways for cancer therapy: recent developments in necroptosis, pyroptosis, ferroptosis, and cuproptosis research. *Journal of Hematology and Oncology*. 2022; 15(1): 1–32. <https://doi.org/10.1186/s13045-022-01392-3>
36. Niu C., Zhang J. Immunoregulation role of the erythroid cells. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1466669. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1466669>
37. Shkrobova N.V., Makhonko M.N., Sharipov D.G., Mustafaev P.V. ogul, Shelekhova T.V. Toxic effect of lead on workers exposed to it. *Trends in the Development of Science and Education*. 2024; 105-9: 70–75 (in Russian). <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2024-442>
38. Perrone P. *et al.* Protective effects of olive oil antioxidant phenols on mercury-induced phosphatidylserine externalization in erythrocyte membrane: Insights into scramblase and flippase activity. *Free Radical Biology & Medicine*. 2025; 227: 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2024.11.047>
39. Alajeyan I.A., Alsughayyir J., Alfihli M.A. Zeatin Elicits Premature Erythrocyte Senescence Through Calcium and Oxidative Stress Mediated by the NOS/PKC/CK1 α Signaling Axis. *Dose-Response*. 2025; 23(1): 15593258251314825. <https://doi.org/10.1177/15593258251314825>

40. Ma J. *et al.* Downregulation of intrinsic apoptosis pathway in erythroblasts contributes to excessive erythrocytosis of chronic mountain sickness. *Blood Cells, Molecules and Diseases*. 2019; 76: 25–31.
<https://doi.org/10.1016/j.bcmd.2019.01.002>

ОБ АВТОРАХ

Евгений Анатольевич Колесник¹

доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии, экологии человека и медико-биологических знаний

evgeniy251082@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2326-651X>

Марина Аркадьевна Дерхо²

доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественно-научных дисциплин Института ветеринарной медицины

derkho2010@yandex.ru

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

Максим Борисович Ребезов^{3, 4}

• 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>

Глеб Геннадьевич Швецов¹

кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой методики преподавания химии, биологии, экологии и географии

glebec13@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-6155-8310>

Екатерина Анатольевна Штакк¹

старший преподаватель кафедры физиологии, экологии человека и медико-биологических знаний

shtakk@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-3696-9270>

¹Государственный университет просвещения, ул. Радио, 10А, стр. 2, Москва, 105005, Россия

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Гагарина, 13, Троицк, 457100, Россия

³Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

⁴Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

40. Ma J. *et al.* Downregulation of intrinsic apoptosis pathway in erythroblasts contributes to excessive erythrocytosis of chronic mountain sickness. *Blood Cells, Molecules and Diseases*. 2019; 76: 25–31.

<https://doi.org/10.1016/j.bcmd.2019.01.002>

ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy Anatolyevich Kolesnik¹

Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Physiology, Human Ecology and Medical and Biological Knowledge

evgeniy251082@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2326-651X>

Marina Arkadyevna Derkho²

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Natural Sciences at the Institute of Veterinary Medicine

derkho2010@yandex.ru

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

Maksim Borisovich Rebezov^{3, 4}

• 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>

Gleb Gennadievich Shvetsov¹

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate professor, Head of the Department of Methods of Teaching Chemistry, Biology, Ecology and Geography

glebec13@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-6155-8310>

Ekaterina Anatolyevna Shtakk¹

Senior Lecturer of the Department of Physiology, Human Ecology and Medical and Biological Knowledge

shtakk@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-3696-9270>

¹Federal State University of Education, 10A/2 Radio Str., Moscow, 105005, Russia

²South Ural State Agrarian University, 13 Gagarin Str., Troitsk, 457100, Russia

³Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

⁴Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia

Эффективность применения «Авекардита®» у собак с эндокардиозом митрального клапана при анестезии для санации ротовой полости: сравнительное исследование гемодинамики

РЕЗЮМЕ

Эндокардиоз митрального клапана является одним из наиболее распространенных заболеваний сердца у собак и представляет значительный риск при проведении стоматологических операций под общей анестезией.

Цель исследования — оценка эффективности применения препарата на основе пимобендана «Авекардит®» при удалении зубов у собак с хронической клапанной регургитацией.

В исследовании участвовали 40 клинически здоровых собак (с точки зрения других органов) с верифицированным эндокардиозом митрального клапана степени В2. Группа I (n = 20) получала «Авекардит®» в дозе 0,25 мг/кг два раза в день за 7 дней до операции и в течение 7 дней после, группа II (n=20) служила контролем без предоперационной медикаментозной поддержки.

Для обезболивания использовались регионарная блокада с бупивакакаином. Мониторинг включал электрокардиографию, пульсоксиметрию, неинвазивное измерение артериального давления и регистрацию показателей каждые 5 минут. Результаты исследования показали, что предоперационное применение препаратов на основе пимобендана значительно снижает гемодинамические осложнения и обеспечивает более стабильный ход анестезии. Собаки группы I демонстрировали лучшую гемодинамическую стабильность с меньшей степенью снижения артериального давления (14,2% в группе I против 31,8% в группе II). Осложнений, связанных с кардиотоксичностью местных анестетиков, не зарегистрировано.

Разработанный анестезиологический протокол может быть рекомендован для использования при стоматологических операциях у собак с эндокардиозом митрального клапана.

Ключевые слова: эндокардиоз, пимобендан, «Авекардит®», санация ротовой полости, анестезиология, стоматология, собаки

Для цитирования: Сметанина Е.С., Ладанова М.А. Эффективность применения Авекардита® у собак с эндокардиозом митрального клапана при анестезии для санации ротовой полости: сравнительное исследование гемодинамики. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 44–49.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-44-49>

Effectiveness of “Avecardit®” use in dogs with mitral valve endocardiosis under anesthesia for oral cavity sanitation: a comparative study of hemodynamics.

ABSTRACT

Mitral valve endocardiosis is one of the most common heart diseases in dogs and poses a significant risk during dental surgery under general anesthesia.

The aim of the study was to evaluate the effectiveness of the pimobendan-based drug “Avecardit®” in tooth extraction in dogs with chronic valvular regurgitation. The study involved 40 clinically healthy dogs (from the point of view of other organs) with verified grade B2 mitral valve endocardiosis. Group I (n = 20) received “Avecardit®” at a dose of 0.25 mg/kg twice daily 7 days before surgery and for 7 days after, group II (n = 20) served as a control without preoperative drug support.

Regional blockade with bupivacaine was used for anesthesia. Monitoring included electrocardiography, pulse oximetry, noninvasive blood pressure measurement, and recording of readings every 5 minutes.

The results of the study showed that the preoperative use of pimobendan-based drugs significantly reduces hemodynamic complications and ensures a more stable course of anesthesia. The dogs of group I demonstrated better hemodynamic stability with a lower degree of reduction in blood pressure (14.2% in group I versus 31.8% in group II). No complications related to the cardiotoxicity of local anesthetics have been reported.

The developed anesthetic protocol can be recommended for use in dental operations in dogs with mitral valve endocardiosis.

Key words: endocardiosis, pimobendane, avecardit®, dental prophylaxis, anesthesiology, dentistry, dog

For citation: Smetanina E.S., Ladanova M.A. Effectiveness of “Avecardit®” use in dogs with mitral valve endocardiosis under anesthesia for oral cavity sanitation: a comparative study of hemodynamics. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 44–49 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-44-49>

Введение/Introduction

Эндокардиоз митрального клапана (ЭМК), также известный как миксоматозная дегенеративная болезнь клапана, является наиболее распространенным заболеванием сердца у собак, встречаясь примерно в 31% случаев среди всех возрастных групп [1]. Среди собак мелких пород старше 6 лет распространенность достигает 21% [2]. Заболевание приводит к дегенерации и утолщению створок и хорд митрального клапана, что обуславливает развитие митральной регургитации и постепенное ремоделирование левого предсердия и левого желудочка. По классификации Американского колледжа внутренней ветеринарной медицины (ACVIM), эндокардиоз митрального клапана разделяется на четыре стадии, где стадия B2 характеризует асимптоматических собак с гемодинамически значимой регургитацией, вызывающей расширение левого предсердия и левого желудочка, что требует превентивного медикаментозного лечения [1].

Стоматологические процедуры, включая удаление зубов, — наиболее часто выполняемое оперативное вмешательство в ветеринарной практике. Однако для животных с сопутствующей кардиопатологией проведение общей анестезии представляет значительный риск [3].

Известно, что сердечно-сосудистые осложнения являются причиной 25–50% смертельных исходов после внесердечных операций у животных с заболеваниями сердца. Это обусловлено влиянием анестетиков на гемодинамику, адренергической реакцией на хирургическую стимуляцию, интубацией трахеи, искусственной вентиляцией легких и перераспределением жидкости.

В последние годы в ветеринарной кардиологии получило развитие применение препаратов на основе пимобендана, который обладает уникальной способностью улучшать сократимость миокарда без увеличения потребления кислорода и одновременно снижать преднагрузку и постнагрузку на сердце [4, 5]. Это свойство теоретически должно снижать периоперационный риск и обеспечивать лучшую гемодинамическую стабильность при проведении анестезии у собак с эндокардиозом. В ветеринарной кардиологической практике пимобендан является стандартом терапии собак с ЭМК.

В настоящем исследовании применяли препарат «Авекардит®», фармакологическая эквивалентность которого оригинальному пимобендану была подтверждена в ряде исследований [6]. Использование данного препарата позволяет обеспечить необходимую терапию и представляет интерес для оценки его эффективности в периоперационном периоде. Дальнейшее лечение пациентов с кардиологическими заболеваниями должно корректироваться строго кардиологом.

Цель исследования — изучить эффективность применения «Авекардита®» при проведении стоматологических операций у собак с эндокардиозом митрального клапана степени B2.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

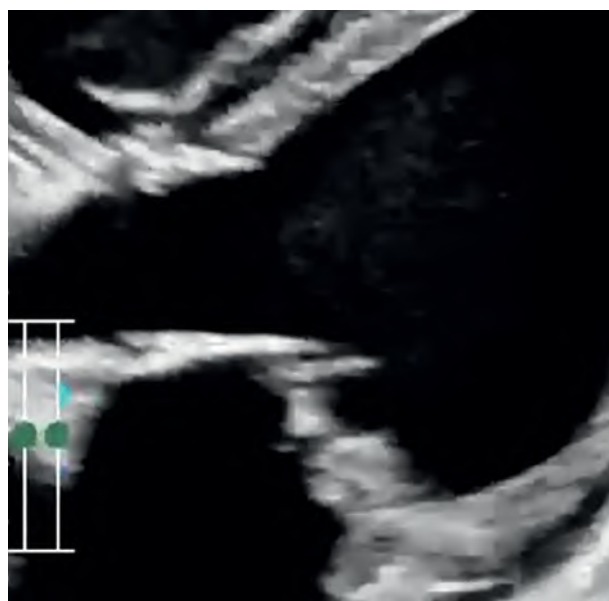
Исследование проводили на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» и ветеринарной клинике Калининского района г. Санкт-Петербурга Российской Федерации с 13.01.2025 по 13.10.2025.

В исследование были включены 40 собак обоего пола в возрасте от 7 до 14 лет (средний возраст $9,8 \pm 1,5$ года) с верифицированным диагнозом «эндокардиоз митрального клапана степени B2» с помощью аппаратов ультразвуковой диагностики Mindray Vet5 (Китай) и Sonoscape P9V (Китай). Диагноз устанавливался авторами комплексно с учетом гуманного подхода к пациентам в соответствии с № 498-ФЗ¹ на основании комплексного клинического обследования, включающего физикальный осмотр, рентгенографию грудной клетки, электрокардиографию и эхокардиографию.

При проведении эхокардиографии у пациентов выявили отношение левого предсердия к аорте LA:Ao $\geq 1,6$, наличие утолщения митрального клапана (рис. 1) и струи регургитации из полости левого желудочка в полость левого предсердия (рис. 2).

Рис. 1. Эхокардиографическое изображение утолщения митрального клапана сердца у самца собаки породы чихуахуа в возрасте 11 лет, полученное авторами на ультразвуковом аппарате Sonoscape P9V

Fig. 1. Echocardiographic image of a thickening of the mitral valve of the heart in a male Chihuahua dog at the age of 11 years, obtained by the authors using a Sonoscape P9V ultrasound machine



¹ Федеральный закон от 27 декабря 2018 года № 498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2018; 53 (ч. I). Ст. 8225.

Критерии включения в выборку для исследования: наличие четких эхокардиографических признаков ЭМК В2, отсутствие клинических признаков застойной сердечной недостаточности, плановое удаление зубов показано по причине одонтолитиаза, наличия очагов контактного стоматита или нарушения целостности анатомических структур зуба.

Критерии исключения из выборки для исследования: стадия В1 или С/D заболевания, наличие аритмий, непредвиденные обстоятельства, требующие срочного хирургического вмешательства.

Животные были рандомизированы в две равные группы: группа I ($n = 20$) получала пимобendan в дозе $0,25 \text{ мг/кг}$ перорально два раза в день (препарат «Авекардит®») (начиная за 7 дней до плановой стоматологической операции) и продолжала терапию в течение 7 дней после операции; группа II ($n = 20$) служила контрольной группой и не получала медикаментозной поддержки перед оперативным вмешательством. Группы были сбалансированы по возрасту ($9,7 \pm 1,6$ года в группе I против $9,9 \pm 1,4$ года в группе II, $p = 0,64$), весу ($12,4 \pm 3,1 \text{ кг}$ против $11,8 \pm 2,9 \text{ кг}$, $p = 0,51$) и половому составу (табл. 1).

Всем животным в качестве индукции анестезии вводили диазепам в дозе $0,3 \text{ мг/кг}$ внутривенно за 10 минут с целью достижения седации и снижения адренергической реакции [7]. Диазепам был выбран вследствие его минимального влияния на гемодинамику и способности сохранять баланс сердечного автоматизма [8].

Поддержание анестезии осуществляли при помощи ингаляционных анестетиков, в частности изофлюраном ($1,0 \text{ об. \%}$) и проведением сбалансированной анестезии с использованием опиоидов (фентанил $5\text{--}10 \text{ мкг/кг}$ болюсом, затем $2\text{--}5 \text{ мкг/кг/ч}$ инфузией). Все животные были проинтубированы эндотрахеальной трубкой и получали дополнительный кислород 100% с частотой $10\text{--}12$ дыхательных движений в минуту на фоне спонтанного дыхания. Так как ингаляционные анестетики могут снижать функцию сердечно-сосудистой системы, их дозировки были сведены к минимально возможному. Все животные получали кристаллоидные растворы со скоростью 5 мл/кг/ч для снижения риска возникновения гипотензии [9].

При развитии гипотензии (среднее артериальное давление $< 65 \text{ мм рт. ст.}$) увеличивали скорость инфузии или применяли вазопрессоры. Для обезболивания ротовой полости использовали инфильтрационные блокады с применением бупивакаина [10]. Максимальная доза бупивакаина не превышала 4 мг/кг , адреналин или дексметомедин не добавлялся к растворам в качестве адъювантов вследствие возможного агрессивного влияния в контексте сердечной патологии [11].

Интраоперационный мониторинг включал постоянную электрокардиографию, тонометрию, капнографию и температуру тела. Для оценки данных параметров использовали ветеринарный

Рис. 2. Эхокардиографическое цветодоплеровское изображение потока митральной регургитации из полости левого предсердия в полость левого желудочка у самца собаки породы чихуахуа в возрасте 11 лет, полученное авторами с использованием ультразвукового аппарата Sonoscape P9V

Fig. 2. Echocardiographic color Doppler image of the mitral regurgitation flow from the left atrium cavity into the left ventricular cavity in a male Chihuahua dog aged 11 years, obtained by the authors using a Sonoscape P9V ultrasound machine

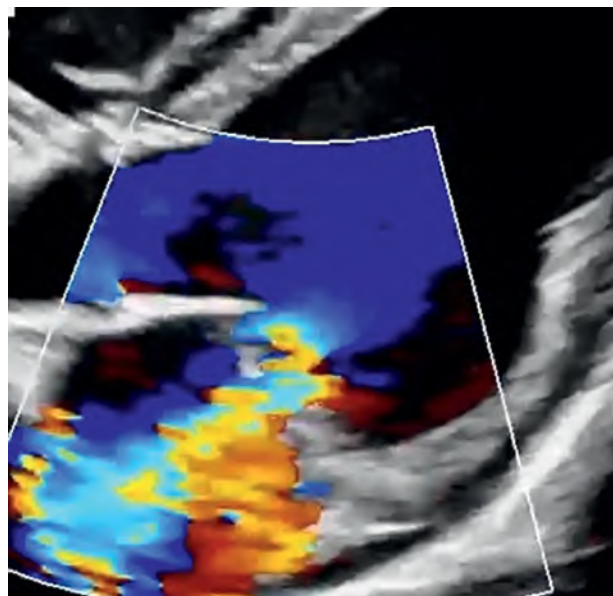


Таблица 1. Основные характеристики экспериментальных групп

Таблица 1. Main characteristics of the experimental groups

Параметр	Группа I	Группа II
Возраст, год	$9,7 \pm 1,6$	$9,9 \pm 1,4$
Вес, кг	$12,4 \pm 3,1$	$11,8 \pm 2,9$
Пол животных (самец/самка)	10/10	10/10

монитор uMEC12 Vet Basic Mindray (Китай), который позволял одновременно осуществлять мониторинг всех необходимых параметров.

Все показатели регистрировали каждые 5 минут в течение всей процедуры — с начала премедикации до полного пробуждения.

Электроды для регистрации ЭКГ размещали на тазовых и грудных конечностях с использованием спирта и проводящего геля для оптимального контакта [12].

После завершения операции животные продолжали получать кислород до достижения адекватной оксигенации ($\text{SpO}_2 > 94\%$). Животные оставались в условиях реанимационного отделения под постоянным мониторингом в течение $12\text{--}24$ часов с регулярной регистрацией частоты сердечных сокращений, артериального давления и паттерна дыхания. Группа I продолжала получать пимобendan, в то время как группе II проводили стандартную постоперационную терапию. Данные анализировали с использованием пакета статистических программ.

Для сравнения показателей между группами использовали: t-тест Стьюдента — для нормально распределенных данных, критерий Манна — Уитни — для ненормального распределения.

Значимость различий определяли на уровне $p < 0,05$. Все результаты представлены в виде средней величины $\pm$ стандартного отклонения.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Был проведен сравнительный анализ гемодинамических параметров у собак, которым выполняли стоматологические операции на фоне эндокардиоза митрального клапана степени В1.

Эхокардиографические параметры не различались между группами: LA:Ao составило $1,75 \pm 0,18$ в группе I, $1,73 \pm 0,15$ — в группе II ($p = 0,61$).

В группе I, получавшей пимобендан, наблюдалась значительно большая гемодинамическая стабильность на протяжении всей процедуры. Исходная частота сердечных сокращений в начале операции составила 92 ± 11 уд/мин в обеих группах.

На фоне индукции анестезии частота сердечных сокращений незначительно снизилась: в группе I — на $8,3 \pm 4,2\%$, в группе II — на $11,7 \pm 5,1\%$ (табл. 2).

Однако в ходе поддержания анестезии группа II продемонстрировала более значительное угнетение сердечного ритма: средняя ЧСС достигала 68 ± 15 уд/мин, в то время как в группе I этот показатель составил 78 ± 12 уд/мин ($p < 0,01$). Изменения артериального давления показали существенные различия между группами. Исходное систолическое артериальное давление составило 138 ± 12 мм рт. ст. в группе I и 140 ± 11 мм рт. ст. в группе II. После индукции в группе I давление снизилось на $2,1\%$, тогда как в группе II снижение было более выраженным — на $4,1\%$. Однако критическим являлось снижение артериального давления в ходе поддержания анестезии.

В группе II наблюдалось выраженное снижение среднего артериального давления на $31,8\%$ (с 104 ± 9 до 71 ± 13 мм рт. ст.), что требовало введения вазопрессоров у 14 из 20 животных (70%). В группе I среднее артериальное давление снизилось лишь на $14,2\%$ (с 106 ± 8 до 91 ± 10 мм рт. ст.), и вазопрессоры потребовались только 4 животным (20%) ($p < 0,001$).

В группе II были зарегистрированы 2 случая (10%) интраоперационной гипотермии, требующие активного согревания. В обеих группах отмечена транзиторная послеоперационная гипотензия, однако продолжительность восстановления нормального артериального давления была существенно короче в группе I: 28 ± 11 мин. vs 64 ± 19 мин. в группе II ($p < 0,01$).

Результаты настоящего исследования демонстрируют, что периоперационное применение препарата «Авекардит®» на основе пимобен-

Таблица 2. Гемодинамические показатели собак разных групп

Таблица 2. Hemodynamic variables

Показатель	Группа I	Группа II	Разница, %
Исходная ЧСС, уд/мин	92 ± 11	92 ± 11	0
ЧСС после индукции, уд/мин	84 ± 8	81 ± 7	3,6
ЧСС при поддержании, уд/мин	78 ± 12	68 ± 15	14,7
Исходное САД, мм рт. ст.	138 ± 12	140 ± 11	1,4
САД после индукции, мм рт. ст.	135 ± 11	134 ± 12	0,7

дана значительно улучшает гемодинамическую стабильность при проведении стоматологических операций у собак с эндокардиозом митрального клапана степени В2. Механизм этого эффекта связан с двойственным действием препарата: положительным инотропным эффектом за счет сенситизации кальциевых каналов и сосудорасширяющим действием вследствие ингибирования фосфодиэстеразы-3 [1].

Снижение преднагрузки и постнагрузки, вызванное «Авекардитом®», является критически важным при эндокардиозе митрального клапана. Поскольку при этой патологии наблюдается расширение левого предсердия и левого желудочка с развитием митральной регургитации, любое дополнительное увеличение напряжения стенок сердца (вызванное, например, гипертензией или переполнением объемом) может значительно ухудшить функцию сердца. Пимобендан, снижая постнагрузку, уменьшает потребность левого желудочка в напряженном сокращении и, следовательно, снижает потребление миокардом кислорода. Одновременно его положительный инотропный эффект обеспечивает улучшение сократимости без тахикардии — ключевое преимущество перед адреналином или добутамином.

Интраоперационный мониторинг, включающий постоянную ЭКГ и измерение артериального давления, является обязательным при анестезии кардиологических пациентов. Постоянная регистрация показателей каждые 5 минут позволяет оперативно выявить изменения гемодинамики и своевременно провести корректирующие мероприятия. Использование неинвазивных методов мониторингирования давления при стоматологических процедурах обоснованно, так как операции имеют относительно ограниченную продолжительность (обычно 30–60 мин.).

На основании полученных результатов рекомендуется следующий протокол анестезиологического сопровождения собак с эндокардиозом митрального клапана при стоматологических операциях: начинать применение пимобендана в дозировке $0,25$ мг/кг дважды в день за 7 дней до плановой операции.

Выводы/Conclusions

Проведенное исследование показало, что пероральное применение препарата «Авекардит®» способствует улучшению гемодинамической стабильности и снижению риска интраоперационной гипотензии у собак с эндокардиозом митрального клапана во время стоматологических операций. Наиболее существенные различия отмечены по количеству животных, потребовавших вазопрессорную поддержку: в группе I (с «Авекардитом®») таких случаев было 20%, а в группе II — 70%. Эти же группы отличались по выраженности снижения среднего артериального давления (14,2% в группе I против 31,8% в группе II). Рекомендуются протокол

подразумевает обязательный интраоперационный мониторинг (ЭКГ, неинвазивное артериальное давление, капнография), что соответствует методу, изложенному в разделе «Материалы и методы».

Анестезиологическое сопровождение собак с эндокардиозом митрального клапана при стоматологических операциях требует комплексного подхода, основанного на понимании влияния анестетиков на кардиоваскулярную систему.

Применение «Авекардита®» демонстрирует значительные преимущества в обеспечении гемодинамической стабильности, снижении риска интраоперационных осложнений и облегчении быстрого восстановления после анестезии.

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

- Keene B.W. *et al.* ACVIM consensus guidelines for the diagnosis and treatment of myxomatous mitral valve disease in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2019; 33(3): 1127–1140. <https://doi.org/10.1111/jvim.15488>
- Pascon J.P.E., Jung G.C., Valandro M.A., Oliveira M.T. Prevalence, risk factors and survival in dogs with myxomatous valve disease. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021; 73(4): 812–820. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12236>
- McManamey A.K., DeFrancesco T.C., Meurs K.M., Papich M.G. Pharmacokinetics of pimobendan after oral administration to dogs with myxomatous mitral valve disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2023; 37(6): 2003–2010. <https://doi.org/10.1111/jvim.16891>
- Boswood A. *et al.* Effect of Pimobendan in Dogs with Preclinical Myxomatous Mitral Valve Disease and Cardiomegaly: The EPIC Study — A Randomized Clinical Trial. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2016; 30(6): 1765–1779. <https://doi.org/10.1111/jvim.14586>
- Sáñez I., Redondo J.I., Donati P.A., Gómez J. Haemodynamic Effects of Pimobendan during General Anaesthesia in Healthy Senior Dogs: A Prospective, Randomised, Triple-Blinded, Placebo-Controlled Clinical Study. *Animals*. 2023; 13(13): 2110. <https://doi.org/10.3390/ani13132110>
- Головин В.В., Абрамов С.В., Балышев А.В., Кочетков П.П., Виолин Б.В. Изучение биоэквивалентности лекарственных препаратов для ветеринарного применения «Авекардит» и «Ветмедин S» в организме собак. *Аграрная наука*. 2024; (6): 33–38. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-33-38>
- Закирова О.В. Адьюванты в регионарной анестезии. *Ветеринарный Петербург*. 2023; (4). <https://spbvet.info/zhurnaly/4-2023/adyuvanty-v-regionarnoy-anestezii/>
- Jeong Y., Kim B., Kim S.-S., Lee K., Yoon H. Changes in echocardiographic indices and left ventricular strain values by two-dimensional speckle-tracking echocardiography following pre-anesthetic oral pimobendan administration compared with intravenous pimobendan in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1394896. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1394896>
- Нестерова С.В. Анестезия при сопутствующих заболеваниях сердца. *Ветеринарный Петербург*. 2015; (2). <https://spbvet.info/zhurnaly/2-2015/anesteziya-pri-soputstvuyushchikh-zabolevaniyakh-serdtsa/>
- Ponikowski P. *et al.* 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 2016; 37(27): 2129–2200. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw128>
- Сметанина Е.С. Применение бупивакаина и лидокаина в регионарной анестезии при проведении стоматологических операций. *Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны. Материалы XIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 300-летию РАН*. СПб.: Ю.В. Перевощикова. 2024; 551–552. <https://elibrary.ru/oageezu>

REFERENCES

- Keene B.W. *et al.* ACVIM consensus guidelines for the diagnosis and treatment of myxomatous mitral valve disease in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2019; 33(3): 1127–1140. <https://doi.org/10.1111/jvim.15488>
- Pascon J.P.E., Jung G.C., Valandro M.A., Oliveira M.T. Prevalence, risk factors and survival in dogs with myxomatous valve disease. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021; 73(4): 812–820. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12236>
- McManamey A.K., DeFrancesco T.C., Meurs K.M., Papich M.G. Pharmacokinetics of pimobendan after oral administration to dogs with myxomatous mitral valve disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2023; 37(6): 2003–2010. <https://doi.org/10.1111/jvim.16891>
- Boswood A. *et al.* Effect of Pimobendan in Dogs with Preclinical Myxomatous Mitral Valve Disease and Cardiomegaly: The EPIC Study — A Randomized Clinical Trial. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2016; 30(6): 1765–1779. <https://doi.org/10.1111/jvim.14586>
- Sáñez I., Redondo J.I., Donati P.A., Gómez J. Haemodynamic Effects of Pimobendan during General Anaesthesia in Healthy Senior Dogs: A Prospective, Randomised, Triple-Blinded, Placebo-Controlled Clinical Study. *Animals*. 2023; 13(13): 2110. <https://doi.org/10.3390/ani13132110>
- Golovin V.V., Abramov S.V., Balyshv A.V., Kochetkov P.P., Violin B.V. Study of the bioequivalence of drugs for veterinary use “Avecardit” and “Vetmedin S” in the body of dogs. *Agrarian science*. 2024; (6): 33–38 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-33-38>
- Zakirova O.V. Adjuvants in regional anesthesia. *Veterinarnyy Peterburg*. 2023; (4) (in Russian). <https://spbvet.info/zhurnaly/4-2023/adyuvanty-v-regionarnoy-anestezii/>
- Jeong Y., Kim B., Kim S.-S., Lee K., Yoon H. Changes in echocardiographic indices and left ventricular strain values by two-dimensional speckle-tracking echocardiography following pre-anesthetic oral pimobendan administration compared with intravenous pimobendan in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1394896. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1394896>
- Nesterova S.V. Anesthesia in concomitant heart disease. *Veterinarnyy Peterburg*. 2015; (2) (in Russian). <https://spbvet.info/zhurnaly/2-2015/anesteziya-pri-soputstvuyushchikh-zabolevaniyakh-serdtsa/>
- Ponikowski P. *et al.* 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 2016; 37(27): 2129–2200. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw128>
- Smetanina E.S. Application of bupivacaine and lidocaine in regional anesthesia during dental surgery. *Knowledge of young people for the development of veterinary medicine and the country's agro-industrial complex. Proceedings of the 13th International scientific conference of students, postgraduates, and young scientists dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences*. St. Petersburg: Yu.V. Perevoshchikova. 2024; 551–552 (in Russian). <https://elibrary.ru/oageezu>

12. Hampton C.E., Riebold T.W., LeBlanc N.L., Scollan K.F., Mandsager R.E., Sisson D.D. Effects of intravenous administration of tiletamine-zolazepam, alfaxalone, ketamine-diazepam, and propofol for induction of anesthesia on cardiorespiratory and metabolic variables in healthy dogs before and during anesthesia maintained with isoflurane. *American Journal of Veterinary Research*. 2019; 80(1): 33–44.
<https://doi.org/10.2460/ajvr.80.1.33>

ОБ АВТОРАХ

Елизавета Сергеевна Сметанина

аспирант

elizawetasmstanina@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6370-6437>

Мария Александровна Ладанова

кандидат ветеринарных наук, доцент

Ldnvmr@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2195-6752>

Санкт-Петербургский государственный университет
 ветеринарной медицины,
 ул. Черниговская, 5, Санкт-Петербург, 196084, Россия

12. Hampton C.E., Riebold T.W., LeBlanc N.L., Scollan K.F., Mandsager R.E., Sisson D.D. Effects of intravenous administration of tiletamine-zolazepam, alfaxalone, ketamine-diazepam, and propofol for induction of anesthesia on cardiorespiratory and metabolic variables in healthy dogs before and during anesthesia maintained with isoflurane. *American Journal of Veterinary Research*. 2019; 80(1): 33–44.
<https://doi.org/10.2460/ajvr.80.1.33>

ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta Sergeevna Smetanina

Graduate Student

elizawetasmstanina@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6370-6437>

Maria Alexandrovna Ladanova

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

Ldnvmr@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2195-6752>

Saint Petersburg State University
 of Veterinary Medicine,
 5 Chernigovskaya Str., St. Petersburg, 196084, Russia

Л.А. Гнездилова

С.М. Розинский

Ю.С. Круглова

Ж.Ю. Мурадян ✉

Московская государственная
академия ветеринарной медицины
и биотехнологии — МВА
им. К.И. Скрябина, Москва, Россия

✉ zh_muradyan@mail.ru

Поступила в редакцию: 12.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Гнездилова Л.А., Розинский С.М.,
Круглова Ю.С., Мурадян Ж.Ю.

Влияние адаптогена бетулина на уровень иммуноглобулинов сыворотки крови племенных телят и коров дойного стада

РЕЗЮМЕ

Представлены научные данные о влиянии кормовой добавки, содержащей бетулин, на уровень иммуноглобулинов телят и молочных коров в условиях животноводческого хозяйства. Изучены данные, полученные в ходе исследования, проведенного на 5- и 10-месячных телятах, а также на молочных коровах, которые были разделены на опытные и контрольные группы. В начале эксперимента в результате проведенного анализа сыворотки крови было установлено, что у некоторых животных контрольной и опытной групп уровень иммуноглобулинов был ниже нормы. В ходе исследования в ежедневный рацион животных опытных групп вносили кормовую добавку, содержащую бетулин. Добавку вводили перорально в дозировке 10 мг/кг живой массы животного один раз в сутки в течение 14 дней.

Повторные исследования сыворотки крови животных опытных и контрольных групп показали, что у животных опытных групп с исходно пониженным уровнем иммуноглобулинов к концу эксперимента данный показатель сместился от пониженного к оптимальному, демонстрируя положительную динамику по группе. При этом аналогичные показатели у животных контрольной группы остались без изменений.

Установлено, что применение добавки, содержащей бетулин, влияет на иммунный статус опытных животных, что свидетельствует о ее иммуностимулирующем эффекте.

Ключевые слова: бетулин, уровень иммуноглобулинов, телята, коровы, пероральное введение, кормовая добавка, сыворотка крови

Для цитирования: Гнездилова Л.А., Розинский С.М., Круглова Ю.С., Мурадян Ж.Ю. Влияние адаптогена бетулина на уровень иммуноглобулинов сыворотки крови племенных телят и коров дойного стада. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 50–58. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-50-58>

Larisa.A. Gnezdilova

Serafim M. Rozinsky

Yulia S. Kruglova

Zhora Yu. Muradyan ✉

Moscow State Academy of Veterinary
Medicine and Biotechnology — MVA
named after K.I. Skryabin, Moscow,
Russia

✉ zh_muradyan@mail.ru

Received by the editorial office: 12.09.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Gnezdilova L.A., Rozinsky S.M.,
Kruglova Yu.S., Muradyan Zh.Yu.

The effect of the adaptogen betulin on the level of immunoglobulins in the blood serum of breeding calves and dairy cows

ABSTRACT

This article presents scientific data on the effect of a betulin-containing feed additive on immunoglobulin levels in calves and dairy cows under livestock farming conditions. The study examined data obtained from a study conducted on five- and ten-month-old calves and dairy cows, divided into experimental and control groups. At the beginning of the experiment, serum analysis revealed that immunoglobulin levels were below normal in some animals in both the control and experimental groups. During the study, a betulin-containing feed additive was added to the daily diet of animals in the experimental groups. The additive was administered orally at a dose of 10 mg/kg of body weight once daily for 14 days.

Repeat serum analyses of animals in the experimental and control groups revealed that, in animals in the experimental groups with initially low immunoglobulin levels, these values shifted from low to optimal by the end of the experiment, demonstrating positive dynamics across the group. However, similar indicators in animals in the control group remained unchanged.

It was established that the use of a supplement containing betulin affected the immune status of the experimental animals, indicating its immunostimulatory effect.

Key words: betulin, immunoglobulin levels, calves, cows, immunoresistance, oral administration, feed additive, blood serum

For citation: Gnezdilova L.A., Rozinsky S.M., Kruglova Yu.S., Muradyan Zh.Yu. The influence of the adaptogen betulin on the level of immunoglobulins in the blood serum of breeding calves and dairy cows. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 50–58 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-50-58>

Введение/Introduction

В настоящее время в молочном и мясном скотоводстве всё чаще применяют подходы интенсификации, которые обуславливают повышенную нагрузку на организм животных с целью получения более высоких продуктивных качеств [1–5].

Воздействие стресс-факторов, обусловленных сменой компонентов рациона, нарушением параметров микроклимата в животноводческих помещениях, перегруппировками, проведением ветеринарных мероприятий, могут нанести непоправимый ущерб их здоровью, воспроизводительной функции, продуктивности [6–10]. На фоне этого снижается естественная резистентность организма животных, нарушается баланс между работой оксидантной и антиоксидантными системами, накапливаются свободные радикалы, которые запускают цепную реакцию окисления белков, липидов и нуклеиновых кислот, что может приводить к повреждению и гибели здоровых клеток, развитию воспалительных процессов. Существенное негативное влияние на организм молодняка и взрослых коров, снижающее их иммунный статус, оказывают инфекционные, инвазионные болезни, акушерско-гинекологические заболевания, микотоксикозы [11–13].

С целью предотвращения негативных последствий стресс-факторов с учетом осложнений, в том числе связанных с недостаточным качеством корма, для поддержания здоровья коров используют различные средства: экзогенные ферменты, пищевые аминокислоты, витамины, минералы [14, 15].

Современная ветеринарная медицина демонстрирует растущий интерес к фитопрепаратам как к альтернативному способу борьбы с инфекционными заболеваниями. Это направление представляется перспективным благодаря способности таких средств оказывать комплексное физиологическое воздействие. В зависимости от преобладающего эффекта их подразделяют на иммуномодуляторы, антиоксиданты и средства с антибактериальной активностью [16–18]. Важным аргументом в их пользу является безопасность, связанная с низкой токсичностью, а также экономическая целесообразность, обусловленная доступностью сырья и простотой технологии экстракции [19]. К числу таких природных соединений относится и бетулин. Данное вещество представляет собой тритерпеноид, который в промышленных масштабах добывают из березовой коры, хотя встречается и в других растениях [20]. В растениях он естественным образом выполняет защитную функцию, оберегая их от ультрафиолета, перепадов температур, бактерий, грибов и насекомых [21].

Изучение бетулина в целях медицинского применения не является научным новшеством. Подтверждено, что соединения активируют макрофаги, которые поглощают бактериальные и вирусные патогены. Это вещество демонстрирует способность усиливать иммунный ответ, тем

самым проявлять иммуномодулирующую активность [22]. Кроме того, бетулин и его производные активируют синтез интерферона, что способствует повышению противовирусной резистентности [23]. Бетулин демонстрирует выраженную антиоксидантную активность, обеспечивая поддержку клеточных мембран от окислительного повреждения в условиях воздействия активных форм кислорода, которые образуются при различных патологиях и в процессе тканевого дыхания [24].

При нормальной работе защитных механизмов организма животного негативные влияния бактериального или вирусного происхождения выражаются в непродолжительных воспалениях. При оптимальной работе иммунитета животного его организм способен эффективно справляться с возникающими болезненными состояниями и самостоятельно бороться с их возбудителями. В состоянии угнетенного иммунитета и при сбоях в его работе, спровоцированных вышеописанными стрессами, защитные реакции через воспаления могут приобретать хроническое течение и переходить в патологические необратимые процессы [25].

Таким образом, универсальность, обеспечиваемая при нормальной работе иммунной системы животного, демонстрирующая неспецифическую устойчивость организма к различным патогенным факторам, является одним из главных факторов обеспечения здоровья животного, особенно при интенсивной производственной нагрузке. Ввиду этого необходимо обеспечивать условия для поддержания оптимальной работы иммунной системы коров, что позволит обеспечивать проактивную высокую способность в адаптации к стрессам и устойчивость к заболеваниям. Это позволит достигать возможность длительного продуктивного использования животных, что, в частности, особенно актуально в отношении крупного рогатого скота молочной направленности [26, 27].

Исходя из вышеописанного, стоит сделать вывод, что необходимо осуществлять соответствующие исследования здоровья животных на предмет иммунного статуса. Основными маркерами, позволяющими объективно и достаточно полно судить о состоянии естественных защитных сил организма животных, являются клеточные и гуморальные показатели крови [28]. Для оценки содержания иммуноглобулинов в сыворотке крови и иммунного статуса животных используется широкий спектр различных качественных и количественных, прямых и непрямых иммунологических и биохимических тестов [29].

Наиболее предпочтительными являются экспресс-методы с использованием тест-систем различных вариантов ИФА. Для определения концентрации IgG применяют метод радиальной иммунодиффузии. Однако для оценки иммунного статуса телят и коров в условиях сельскохозяйственных предприятий широко применяют следующие непрямые методы: турбидиметрические

тесты с сульфатом цинка, глутаральдегидовый тест, другие тесты, которые выявляют общий уровень глобулинов и других белков [29].

Использование непрямых методов определения уровня иммуноглобулинов в медицинской практике и в ветеринарии в нашей стране и за рубежом давно практикуется и до настоящего времени остается приемлемым. Американские ученые-медики J.P. O'Brien и D.M. Sherman в 1992 году в качестве методов оценки концентрации сывороточных иммуноглобулинов у новорожденных детей проводили качественный тест преципитации с сульфитом натрия для оценки содержания Ig с использованием 14%-ного, 16%-ного и 18%-ного растворов сульфита натрия. Был сделан вывод о том, что тест является полезным методом скрининга и подтвержден в полевых условиях.

В условиях фермерских хозяйств ветеринарными специалистами широко применялись тесты на осаждение сульфитом натрия для оценки передачи иммуноглобулинов с молозивом матерей телятам и определения концентрации иммуноглобулинов в сыворотке новорожденных козлят.

В 2015 году ирландские ученые I. Hogan, M. Doherty, J. Fagan из научно-исследовательского центра животноводства и пастбищных угодий провели исследование 126 образцов сыворотки крови телят фризской породы. Проводилось сравнение экспресс-тестов для определения уровня иммуноглобулинов у животных при передаче пассивного иммунитета с молозивом коров с методом радиальной иммунодиффузии, который считается подходящим эталонным методом. Все исследованные тесты показали высокую чувствительность, но различались по специфичности. Был сделан вывод о возможности применения их для оценки иммунного статуса телят [30].

В 2024 году сотрудники ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности» Ю.И. Федоров и др. оценивали диагностическую эффективность прямых и непрямых методов, которые могут быть использованы ветеринарными специалистами для определения иммунного статуса и передачи материнского иммунитета у новорожденных телят. Результаты исследований показали, что непрямые методы иммунного анализа, основанные на феноменах преципитации, помутнения и коагуляции (тесты с сульфитом натрия, сульфатом цинка и глутаровым альдегидом), могут использоваться как экспресс-методы диагностики уровня иммуноглобулинов у телят, пригодны для исследований в полевых условиях [31].

При выборе экспресс-метода «Осаждение Ig пробой с сульфитом натрия» руководствовались необходимостью выявления общего количества иммуноглобулинов, а не определением

концентрации конкретного иммуноглобулина, например IgG, который выполняет защитные функции организма животных. Преимущество предложенного метода заключается в коротких сроках получения результатов исследования, относительно низкой стоимостью его проведения, доступностью осуществления как с точки зрения лабораторного оснащения, так и с точки зрения требований к компетенциям широкого круга специалистов, в простоте и эффективности в условиях сельскохозяйственных предприятий.

Цель исследования — изучить влияние применения природной кормовой добавки, содержащей в своем составе бетулин, на иммунный статус при введении ее телятам и дойным коровам в условиях животноводческого комплекса.

Задача исследований — определить уровень иммуноглобулинов сыворотки крови у телят и коров молочного стада при введении бетулинсодержащей добавки.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с сентября по октябрь 2024 года на молочных комплексах племенного хозяйства СХП «Колхоз «Сознательный» Зубцовского района Тверской области Российской Федерации и на кафедре диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина» (Москва, Российская Федерация).

Хозяйство благополучно по лейкозу, туберкулезу, бруцеллезу¹.

Для экспериментальных исследований были сформированы опытные группы животных: бычки 5- и 10-месячного возраста, лактирующие коровы сычевской породы второй и третьей лактации. При определении состава групп были учтены данные первичного исследования, обеспечивающие транспарентность исходных данных исследования.

Условия содержания животных соответствовали ветеринарно-санитарным и гигиеническим требованиям по содержанию помещений и территорий. Телята (бычки) находились в беспривязном содержании в отдельном комплексе по 10 голов в секторе. Коровы содержались по принципу привязного содержания в отдельном комплексе на 200 голов.

При кормлении бычков и коров использовали рационы, в состав которых входили: сено разнотравное луговое — 42,4–43,2%, силос кукурузный — 17,6–18,9%, зерновая смесь дробленая (пшеница или ячмень) — 38,2–39,0%. Рационы для животных были сформированы по потребности в питательных веществах и энергии².

¹ По данным ветеринарной службы хозяйства.

² Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглов и др. 3-е изд. (перераб. и доп.). М.: Знание. 2003; 456.
ISBN 5-94587-093-5. <https://www.elibrary.ru/pxqmh1>

Для изучения действия бетулина на иммунный статус сыворотки крови телят и коров дойного стада были сформированы:

- две группы бычков (опытная и контрольная) (по 10 голов в каждой) возрастом 5 месяцев, живой массой^{3,4} 150–165 кг;
- две группы бычков (опытная и контрольная) (по 10 голов в каждой) возрастом 10 месяцев, живой массой 286–316 кг;
- две группы лактирующих здоровых коров 2–3-й лактации (опытная и контрольная) (по 10 голов в каждой) живой массой 550–600 кг, с удоем 7000–8000 кг/год.

У животных опытных и контрольных групп проводились все плановые диагностические мероприятия согласно утвержденной схеме лечебно-профилактических обработок в хозяйстве.

Все эксперименты на животных были выполнены с соблюдением этических норм, соответствующих Директиве Европейского союза № 2010/63/ЕС⁵ и принципам гуманного обращения с животными, изложенным в статье 4 Федерального закона РФ № 498-ФЗ⁶. При проведении исследований были предприняты меры для сведения к минимуму возможных страданий животных. Количество исследованных опытных образцов обусловлено минимальной потребностью для проведения исследования, не допуская негативного влияния на состояние животных.

Применяли кормовую добавку, содержащую бетулин⁷ (ИП «Иванов Сергей Олегович», ТУ 10.89.15-008-2003838090-2022), в виде водной взвеси в 2%-ном растворе кукурузного крахмала для улучшения биодоступности препарата [32] (далее — бетулинсодержащая кормовая добавка). Введение добавки осуществляли посредством использования резиновой бутылки (пероральным путем). Введение добавки производили индивидуально всем животным опытных групп из расчета дозы 10 мг/кг живой массы тела один раз в день в течение 14 дней. Расчет дозы осуществляли на основе ранее проведенных научных исследований [33].

В ходе исследования проводили мониторинг клинического состояния животных. В начале исследования совместно со специалистами предприятия была проведена оценка клинического состояния животных (температура, пульс, дыхание, поведенческие реакции, аппетит, акт дефекации и

диурез, двигательная активность, состояние кожных покровов). В последующем при проведении исследования такую оценку проводили ежедневно на протяжении 14 суток.

Взятие крови животных проводили из яремной и хвостовой вен до и после 14 дней использования изучаемой добавки. Получение сыворотки крови для последующих исследований проводили на научно-исследовательской базе кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина».

Для определения иммуноглобулинов в сыворотке использовали экспресс-метод «Осаждение Jg пробой с сульфитом натрия». Этот метод пригоден не только для качественного, но и для количественного определения Jg в сыворотке крови [29]. Для постановки пробы используют 14%-ный, 16%-ный и 18%-ный растворы безводного сернистого натрия (Na_2SO_3) и свежую сыворотку крови. Реакцию ставят параллельно в трех пробирках (диаметр 6 мм, высота 100 мм), в которые вносят по 1,9 мл, соответственно, 14%-ного, 16%-ного и 18%-ного раствора безводного натрия. Содержимое пробирок тщательно перемешивают и выдерживают в течение 1 часа при температуре 22 °С. Метод основан на том, что иммуноглобулины, как высокомолекулярные белки, в сыворотке крови животных преципитируются растворами сульфита натрия в концентрации от 14 до 18%.

При положительной реакции в пробирке при визуальной оценке появляется помутнение или выпадает осадок. По характеру преципитации оцениваются количественные характеристики иммуноглобулинов в сыворотке крови животных. Концентрацию Jg определяют по наличию (+) или отсутствию (-) образования хлопьев среды в пробирках.

Методика определения иммуноглобулинов в сыворотке крови представлена в таблице 1.

Метод обладает ограничениями по чувствительности определения содержания иммуноглобулинов в исследуемых материалах. Так, пределом определения концентрации на 1 мл сыворотки крови является 15 мг иммуноглобулинов. Тест является простым, доступным для реализации в хозяйственной деятельности животноводческих комплексов с достаточной точностью при

³ Живую массу крупного рогатого скота определяли с помощью мерной ленты путем обмера. Методика проведения: определяли живую массу крупного рогатого скота, измеряя косую длину туловища (от крайней передней точки выступа плечевой кости до заднего выступа седалищного бугра) и обхват груди за лопатками.

⁴ Лебедько Е.А. Определение живой массы сельскохозяйственных животных по промерам: практическое руководство. М.: Аквариум-Принт. 2006; 48. ISBN 5-98435-574-4

⁵ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

⁶ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

⁷ Общее наименование продукции «Экстракт бересты бетулинсодержащий с маркировкой ИП «Иванов Сергей Олегович». Тип объекта декларирования: серийный выпуск. Декларация: ЕАЭС № RU Д-РУ.РА04.В.54045/23. Регламенты: ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции; ТР ТС 022/2011 Пищевая продукция в части ее маркировки; ТР ТС 029/2012 Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств.

Таблица 1. Определение концентрации иммуноглобулинов в сыворотке крови по результатам преципитации с сульфитом натрия

Table 1. Determination of the concentration of immunoglobulins in blood serum based on the results of precipitation with sodium sulfite

Уровень иммуноглобулинов, мг/мл	Концентрация сульфита натрия, %		
	14	16	18
Оптимальный уровень иммуноглобулинов (более 15 мг/мл)	+	+	+
Пониженный уровень иммуноглобулинов (5–15 мг/мл)	–	+	+
Очень низкий уровень иммуноглобулинов (ниже 5 мг/мл)	–	–	+
Отсутствие иммуноглобулинов	–	–	–

значительных выборках, недорогим и эффективным непрямым экспресс-методом.

Для статистического анализа эффективности применения бетулинсодержащей добавки использовали точный тест Фишера⁸. Выбор данного метода был обусловлен особенностями дизайна исследования: анализ проводили в подгруппах животных с исходно сниженным уровнем иммуноглобулинов, где количество наблюдений было ограничено. Точный критерий Фишера является оптимальным методом для анализа таблиц сопряженности при малых объемах выборок, поскольку он не требует предположений о нормальности распределения и обеспечивает точную оценку статистической значимости без аппроксимации. Наблюдение различия в пропорциях между опытной и контрольной группами могут возникнуть случайно при условии справедливости нулевой гипотезы об отсутствии эффекта вмешательств. Статистическую значимость устанавливали при $p < 0,05$ ⁹.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На основании проведенных оценок в период проведения эксперимента у животных опытных групп не отмечено достоверных изменений показателей температуры тела, частоты пульса и количества дыхательных движений. Не было выявлено общей реакции организма на введение препарата. Не отмечалось изменения поведенческих реакций, понижения аппетита, расстройства дефекации и диуреза, а также снижения удоев.

Уровень иммуноглобулинов в сыворотке крови у КРС зависит от возраста и физиологического состояния животных. Так, у телят в возрасте до шести месяцев в норме общее количество иммуноглобулинов должно находиться от 15 до 25 мг/мл [34]. У животных старше шести месяцев данный показатель имеет более высокие значения¹⁰.

Для определения влияния бетулинсодержащей добавки в силу ограничений метода исследования

значением подтверждения влияния добавки на организм особи выступает преодоление порога в концентрации свыше 15 мг/мл.

В начале эксперимента снижение концентрации иммуноглобулинов (5–15 мг/мл) наблюдается у 4 из 10 телят опытной группы, у 3 из 10 телят — контрольной. В конце эксперимента у животных опытной группы уровень иммуноглобулинов пришел в норму, то есть стал больше 15 мг/мл, в то время как у телят контрольной группы никаких изменений не выявили.

Таким образом, по результату анализа исходных и полученных данных можно сделать вывод об изменении показателей и приведении их к норме в опытной группе у 100% животных. В контрольной группе телят соотношение осталось на исходном уровне и составило в конце эксперимента 70% (рис. 1).

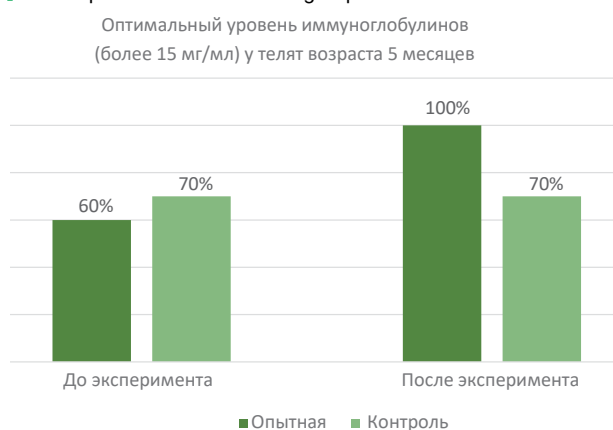
Статистический анализ показал, что нормализация уровня иммуноглобулинов произошла у большего количества животных в опытной группе по сравнению с контрольной. Критерий Хи-квадрат по уровню значимости меньше 0,001, $p < 0,05$.

В эксперименте установлено, что из 10 телят 10-месячного возраста опытной группы в начале эксперимента снижение концентрации иммуноглобулинов наблюдалось у 3 животных в диапазоне от 5 до 15 мг/мл, у остальных животных отклонений в показателях концентрации иммуноглобулина не отмечалось. В конце опыта в сыворотке крови у всех телят опытной группы концентрация иммуноглобулинов составляла более 15 мг/мл.

В контрольной группе в начале эксперимента концентрация иммуноглобулинов в диапазоне от 5 до 15 мг/мл была выявлена у 2 из 10 телят, для

Рис. 1. Соотношение изменения показателя уровня иммуноглобулинов в начале и конце эксперимента у пятимесячных телят опытной и контрольной групп

Fig. 1. The ratio of changes in the immunoglobulin level at the beginning and end of the experiment in five-month-old calves of the experimental and control groups



⁸ <https://medstatistic.ru/methods/methods5.html>

⁹ Гланц С. Медико-биологическая статистика / Пер. с англ. М.: Практика. 1999; 150–154.

¹⁰ Marnila Pertti, Korhonen Hannu. Immunoglobulins. Encyclopedia of Dairy Sciences. 2002.

остальных животных концентрация иммуноглобулина составляла более 15 мг/мл. В конце эксперимента показатели остались без изменений.

Таким образом, по результату анализа исходных и полученных данных можно сделать вывод об изменении показателей и приведении их к норме в опытной группе у 100% животных. В контрольной группе телят соотношение осталось на исходном уровне и составило в конце эксперимента 80% (рис. 2).

Различие в доле животных с нормализовавшимися показателями между группами было статистически значимым. Критерий Хи-квадрат по уровню значимости меньше 0,001, $p < 0,05$.

В эксперименте на лактирующих коровах показано, что уровень иммуноглобулинов у двух коров опытной группы до применения бетулинсодержащей кормовой добавки находился в диапазоне от 5 до 15 мг/мл. У остальных животных его концентрация составляла более 15 мг/мл.

Таким образом, по результату анализа исходных и полученных данных можно сделать вывод об изменении показателей и приведении их к норме в опытной группе у 100% животных. В контрольной группе коров соотношение осталось на исходном уровне и составило в конце эксперимента 90% (рис. 3).

Выявлена статистически значимая разница в эффективности нормализации уровня иммуноглобулинов между опытной и контрольной группами. Критерий Хи-квадрат по уровню значимости меньше 0,001, $p < 0,05$.

Таким образом, во всех опытных группах наблюдается изменение показателей иммуноглобулинов в сыворотке крови до оптимального значения, при этом у животных контрольных групп значение иммуноглобулинов осталось на прежнем уровне.

Выводы/Conclusions

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии бетулинсодержащей кормовой добавки на динамику увеличения уровня иммуноглобулинов и оптимизацию их содержания в сыворотке крови объектов исследования при введении индивидуально животным в дозе 10 мг/кг живой массы тела перорально 1 раз в сутки в течение 14 дней. Вышеизложенные данные подтверждают ее иммуностимулирующее действие на организм животных. Считаем, что перспективным направлением в области

Рис. 2. Соотношение изменения показателя уровня иммуноглобулинов в начале и конце эксперимента у 10-месячных телят опытной и контрольной групп

Fig. 2. The ratio of changes in the immunoglobulin level at the beginning and at the end of the experiment in ten-month-old calves of the experimental and control groups

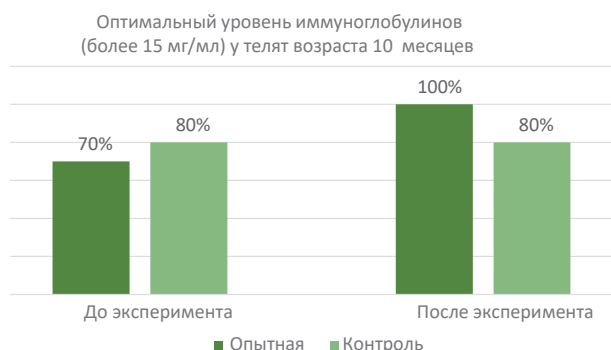
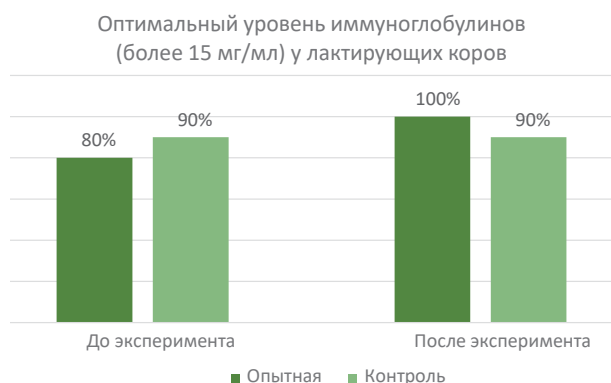


Рис. 3. Соотношение изменения показателя уровня иммуноглобулинов в начале и конце эксперимента у лактирующих коров опытной и контрольной групп

Fig. 3. The ratio of changes in the immunoglobulin level at the beginning and at the end of the experiment in lactating cows of the experimental and control groups



ветеринарии и животноводства являются дальнейшие разработки по применению растительных тритерпеноидов в качестве иммуномодуляторов при различных заболеваниях животных. Экологически чистые бетулинсодержащие препараты могут быть использованы как эффективные средства при проведении комплексных профилактических и терапевтических мероприятий с животными. В условиях интенсивного менеджмента в скотоводстве применение таких кормовых добавок позволит сохранить здоровье высокопродуктивных коров, продлить срок их хозяйственного использования, а значит, увеличить прибыль животноводческих комплексов.

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

Экспериментальные работы проводили в рамках гранта РНФ «Природные адаптогены для восстановления воспроизводительной функции у крупного рогатого скота при микотоксикозах (соглашение № 23-26-00150). <https://rscf.ru/project/23-26-00150>

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 experimental work was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation "Natural adaptogens for restoration of reproductive function in cattle with mycotoxicosis (agreement No. 23-26-00150). <https://rscf.ru/project/23-26-00150>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Карликова Г.Г., Лашнева И.А., Сермягин А.А. Моделирование лактационных кривых удоя, компонентов молока и метаболитов обмена веществ коров голштинской породы. *Аграрная наука*. 2025; (7): 77–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-77-84>
- 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>
- Миронова И.В., Завьялов О.А., Фролов А.Н., Слинкин А.А. Исследование влияния гормонального статуса на продуктивные качества бычков герефордской породы КРС. *Аграрная наука*. 2025; (2): 73–79. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-73-79>
- Лоретц О.Г. и др. Повышение продуктивного долголетия коров черно-пестрой породы. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2017; 163. ISBN 978-5-87203-403-2 <https://www.elibrary.ru/yruyhs>
- Горелик О.В., Горелик А.С., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Оценка влияния генотипа по голштинской породе на продуктивные качества коров. *Аграрная наука*. 2025; (2): 101–107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-101-107>
- Аглюлина А.Р. Естественная резистентность телят в условиях резко континентального климата Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2010; (2): 69–70. <https://www.elibrary.ru/mqgbyp>
- Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М. Влияние микотоксинов на репродуктивные и производственные показатели лактирующих коров в условиях интенсивного производства. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2023; (4): 70–79. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202304007>
- Gnezdilova L.A., Kruglova Yu.S., Muradyan Zh.Yu., Rozinsky S.M. Sustainable ecological health of livestock farms, the impact of a betulin-containing feed additive on clinical and hematological parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2024; 14(4): 191–200. <https://doi.org/10.31407/ijeess14.423>
- Зайцев В.В., Серых М.М., Овчинников С.В. Повышение резистентности новорожденных телят. *Актуальные проблемы ветеринарии и зоотехнии в XXI веке*. Сборник научных трудов. Самара: СГСХА. 2004; 59–60. <https://www.elibrary.ru/tpisaj>
- Харлап С.Ю., Лоретц О.Г., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Максимюк Н.Н. Изменение лейкоцитарных индексов при оценке воздействия стресс-фактора. *Актуальные проблемы биотехнологии и ветеринарной медицины. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых*. Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет. 2017; 419–429. <https://www.elibrary.ru/xzgikl>
- Fedotov S.V., Belozertseva N.S., Latynina E.S., Akchurin S.V. Influence of sub-clinical mastitis on milk quality in cows. *BIO Web of Conferences*. 2024; 139: 12001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413912001>
- Poryvaeva A.P., Pechura E.V., Krasnopeorov A.S., Belousova D.A., Klepova Yu.V., Kozhukhovskaya V.V. Immunological reactivity in cows under technogenic load conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024; 1405: 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1405/1/012029>
- Spiridonov A. et al. Clinical trial results of an associated vaccine against cattle clostridiosis and escherichiosis. *BIO Web of Conferences*. 2024; 113: 02011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411302011>
- Шошин Д.Е., Ерофеев Н.Г., Сизова Е.А., Павлова М.Ю. Стресс как лимитирующий фактор в животноводстве (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*. 2024; 107(3): 138–162. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>
- Силян Д.А., Платонов С.А. Виды стрессов и методы снижения стрессовой нагрузки у крупного рогатого скота. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024; 54(6): 101–111. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-6-10>
- Gnezdilova L., Kruglova Yu., Muradyan Zh., Rozinsky S. Assessing the ecological impact of betulin-containing feed additives: insights from biochemical parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2025; 15(1): 103–112. <https://doi.org/10.31407/ijeess15.112>

REFERENCES

- Karlikova G.G., Lashneva I.A., Sermyagin A.A. Modeling of milk yield lactation curves, milk components, and metabolic metabolites of Holstein cows. *Agrarian science*. 2025; (7): 77–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-77-84>
- 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>
- Mironova I.V., Zavyalov O.A., Frolov A.N., Slinkin A.A. Research of influence of hormonal status on productive qualities of bulls of Hereford cattle breed. *Agrarian science*. 2025; (2): 73–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-73-79>
- Loretts O.G. et al. Increasing the productive longevity of Black-and-White cows. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2017; 163 (in Russian). ISBN 978-5-87203-403-2 <https://www.elibrary.ru/yruyhs>
- Gorelik O.V., Gorelik A.S., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Assessment of the effect of the Holstein breed genotype on the productive qualities of cows. *Agrarian science*. 2025; (2): 101–107 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-101-107>
- Aglyulina A.R. Natural resistance of calves under the conditions of sharp-continent climate of the Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2010; (2): 69–70 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mqgbyp>
- Gnezdilova L.A., Fedotov S.V., Muradyan Zh.Yu., Rozinsky S.M. Effect of mycotoxins on reproductive and production performance of lactating cows under conditions of intensive production. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2023; (4): 70–79 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202304007>
- Gnezdilova L.A., Kruglova Yu.S., Muradyan Zh.Yu., Rozinsky S.M. Sustainable ecological health of livestock farms, the impact of a betulin-containing feed additive on clinical and hematological parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2024; 14(4): 191–200. <https://doi.org/10.31407/ijeess14.423>
- Zaytsev V.V., Serykh M.M., Ovchinnikov S.V. Increasing the resistance of newborn calves. *Actual problems of veterinary science and animal science in the 21st century. Collection of scientific papers*. Samara: Samara State Agricultural Academy. 2004; 59–60 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tpisaj>
- Kharlap S.Yu., Loretz O.G., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Maksimuk N.N. The change in leukocyte indexes in assessing the impact of the stress factor. *Actual problems of biotechnology and veterinary medicine. Proceedings of the International scientific and practical conference of young scientists*. Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University. 2017; 419–429 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xzgikl>
- Fedotov S.V., Belozertseva N.S., Latynina E.S., Akchurin S.V. Influence of sub-clinical mastitis on milk quality in cows. *BIO Web of Conferences*. 2024; 139: 12001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413912001>
- Poryvaeva A.P., Pechura E.V., Krasnopeorov A.S., Belousova D.A., Klepova Yu.V., Kozhukhovskaya V.V. Immunological reactivity in cows under technogenic load conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024; 1405: 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1405/1/012029>
- Spiridonov A. et al. Clinical trial results of an associated vaccine against cattle clostridiosis and escherichiosis. *BIO Web of Conferences*. 2024; 113: 02011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411302011>
- Shoshin D.E., Erofeev N.G., Sizova E.A., Pavlova M.Yu. Stress as a limiting factor in animal husbandry. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107(3): 138–162 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>
- Silin D.A., Platonov S.A. Types of stress and methods of stress reduction in cattle. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(6): 101–111 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-6-10>
- Gnezdilova L., Kruglova Yu., Muradyan Zh., Rozinsky S. Assessing the ecological impact of betulin-containing feed additives: insights from biochemical parameters in breeding calves and dairy cows. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2025; 15(1): 103–112. <https://doi.org/10.31407/ijeess15.112>

17. Красиков А.П., Плешакова В.И., Новицкий А.А., Трофимов И.Г., Алексеева И.Г., Лещёва Н.А. Применение растительного препарата бетулина в животноводстве. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2017; (12–2): 9–13. <https://www.elibrary.ru/vvagsd>
18. Шрайнер А.А., Сунцова О.А., Лыско С.Б., Кулаков И.В. Разработка новых биологически активных препаратов на основе бетулина для нужд практической ветеринарии. *Биотехнологии в сельском хозяйстве, промышленности и медицине. Сборник материалов Региональной научно-практической конференции молодых ученых*. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина. 2017; 277–282. <https://www.elibrary.ru/vvpwfv>
19. Карамаева А.С., Зайцев В.В. Показатели естественной резистентности коров разных пород. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2011; (1): 150–153. <https://www.elibrary.ru/nebjnt>
20. Куликова Н.А. Исследование содержания билирубина в крови крупного рогатого скота. *Международный студенческий научный вестник*. 2017; (4–5): 616–618. <https://www.elibrary.ru/zegmkh>
21. Петренко А.А., Барышников П.И. Применение биогенных препаратов растительного происхождения в ветеринарии. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2024; (3): 62–67. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-233-3-62-67>
22. Дерюгина А.В., Ивашенко М.Н., Метелин В.Б., Ковылин Р.С., Игнатьев П.С. Влияние технологического стресса на неспецифическую резистентность организма коров. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(3): 26–40. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-26-40>
23. Алексеева И.Г., Земляничина И.Ю., Красиков А.П. Иммуномодулирующие свойства бетулина и перспективы его применения в ветеринарной медицине. *Инфекционная патология животных. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию СибНИВИ-ВНИИБТЖ*. Омск: Амфора. 2011; 179–185. <https://www.elibrary.ru/stopml>
24. Kemboi D.C. *et al.* A Review of the Impact of Mycotoxins on Dairy Cattle Health: Challenges for Food Safety and Dairy Production in Sub-Saharan Africa. *Toxins*. 2020; 12(4): 222. <https://doi.org/10.3390/toxins12040222>
25. Ahn J.Y., Kim J., Cheong D.H., Hong H., Jeong J.Y., Kim B.G. An *in vitro* Study on the Efficacy of Mycotoxin Sequestering Agents for Aflatoxin B1, Deoxynivalenol, and Zearalenone. *Animals*. 2022; 12(3): 333. <https://doi.org/10.3390/ani12030333>
26. Sulzberger S.A., Melnichenko S., Cardoso F.C. Effects of clay after an aflatoxin challenge on aflatoxin clearance, milk production, and metabolism of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(3): 1856–1869. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11612>
27. Zhang F. *et al.* Turn-On Fluorescence Aptasensor on Magnetic Nanobeads for Aflatoxin M1 Detection Based on an Exonuclease III-Assisted Signal Amplification Strategy. *Nanomaterials*. 2019; 9(1): 104. <https://doi.org/10.3390/nano9010104>
28. Gao Y., Li S., Wang J., Luo C., Zhao S., Zheng N. Modulation of Intestinal Epithelial Permeability in Differentiated Caco-2 Cells Exposed to Aflatoxin M1 and Ochratoxin A Individually or Collectively. *Toxins*. 2018; 10(1): 13. <https://doi.org/10.3390/toxins10010013>
29. Фёдоров Ю.Н., Ключкина В.И., Богомолова О.А., Романенко М.Н., Царькова К.Н. Иммуноферментный метод (сэндвич-ИФА) определения IgG в сыворотке крови телят. *Аграрные проблемы горного Алтая и сопредельных регионов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию Горно-Алтайского НИИ сельского хозяйства и 100-летию Министерства сельского хозяйства Республики Алтай*. Барнаул: Азбука. 2020; 5: 345–354. <https://www.elibrary.ru/urmnne>
30. Hogan I. *et al.* Comparison of rapid laboratory tests for failure of passive transfer in the bovine. *Irish Veterinary Journal*. 2015; 68: 18.
31. Фёдоров Ю.Н., Богомолова О.А., Царькова К.Н., Кочетова Л.Н. Иммунодиагностические тесты оценки иммунного статуса и нарушений передачи пассивного иммунитета у новорожденных телят. *Сборник научных трудов КНЦЗВ*. 2024; 13(1): 254–260. <https://doi.org/10.48612/sbornik-2024-1-58>
32. Кузина Л.Б., Кузьмина Л.Г., Лукин Н.Д. Использование крахмала и сахаросодержащих веществ в комплексе вспомогательных ингредиентов отечественных и зарубежных фармпроизводителей (сравнительный анализ). *Бюллетень науки и практики*. 2020; 6(11): 132–141. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/60/14>
17. Krasikov A.P., Pleshakova V.I., Novitsky A.A., Trofimov I.G., Alexeeva I.G., Leshcheva N.A. The use of herbal preparation betulin in animal husbandry. *Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*. 2017; (12–2): 9–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vvagsd>
18. Shrayner A.A., Suntsova O.A., Lysko S.B., Kulakov I.V. Development of new biologically active preparations based on betulin for the needs of the practical veterinary. *Biotechnology in agriculture, industry and medicine. Collection of materials of the Regional scientific and practical conference of young scientists*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 2017; 277–282 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vvpwfv>
19. Karamaeva A.S., Zaytsev V.V. Cows' different breeds natural resistance indicators. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2011; (1): 150–153 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/nebjnt>
20. Kulikova N.A. The study of the content of bilirubin in the blood of cattle. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2017; (4–5): 616–618 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zegmkh>
21. Petrenko A.A., Baryshnikov P.I. Use of biogenic medicines of vegetable origin in veterinary medicine. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2024; (3): 62–67 (in Russian) <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-233-3-62-67>
22. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Metelin V.B., Kovylin R.S., Ignatiev P.S. Influence of Technological Stress on Nonspecific Resistance of Cows. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(3): 26–40 (in Russian). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-26-40>
23. Alekseeva I.G., Zemlyanitsyna I.Yu., Krasikov A.P. Immunomodulatory properties of betulin and prospects for its use in veterinary medicine. *Infectious pathology of animals. Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of SibNIVI-VNIIBTZh*. Omsk: Amfora. 2011; 179–185 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/stopml>
24. Kemboi D.C. *et al.* A Review of the Impact of Mycotoxins on Dairy Cattle Health: Challenges for Food Safety and Dairy Production in Sub-Saharan Africa. *Toxins*. 2020; 12(4): 222. <https://doi.org/10.3390/toxins12040222>
25. Ahn J.Y., Kim J., Cheong D.H., Hong H., Jeong J.Y., Kim B.G. An *in vitro* Study on the Efficacy of Mycotoxin Sequestering Agents for Aflatoxin B1, Deoxynivalenol, and Zearalenone. *Animals*. 2022; 12(3): 333. <https://doi.org/10.3390/ani12030333>
26. Sulzberger S.A., Melnichenko S., Cardoso F.C. Effects of clay after an aflatoxin challenge on aflatoxin clearance, milk production, and metabolism of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(3): 1856–1869. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11612>
27. Zhang F. *et al.* Turn-On Fluorescence Aptasensor on Magnetic Nanobeads for Aflatoxin M1 Detection Based on an Exonuclease III-Assisted Signal Amplification Strategy. *Nanomaterials*. 2019; 9(1): 104. <https://doi.org/10.3390/nano9010104>
28. Gao Y., Li S., Wang J., Luo C., Zhao S., Zheng N. Modulation of Intestinal Epithelial Permeability in Differentiated Caco-2 Cells Exposed to Aflatoxin M1 and Ochratoxin A Individually or Collectively. *Toxins*. 2018; 10(1): 13. <https://doi.org/10.3390/toxins10010013>
29. Fedorov Yu.N., Klukina V.I., Bogomolova O.A., Romanenko M.N., Tsarkova K.N. Enzyme-linked immunosorbent assay (sandwich-ELISA) the measurement IgG in serum of calves. *Agrarian problems of the Altai Mountains and adjacent regions. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Gorno-Altai Research Institute of Agriculture and the 100th anniversary of the Ministry of Agriculture of the Altai Republic*. Barnaul: Azbuka. 2020; 5: 345–354 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/urmnne>
30. Hogan I. *et al.* Comparison of rapid laboratory tests for failure of passive transfer in the bovine. *Irish Veterinary Journal*. 2015; 68: 18.
31. Fedorov Yu.N., Bogomolova O.A., Tsarkova K.N., Kochetova L.N. Immunodiagnostic tests for detection of immune status and failure of passive immunity transfer in newborn calves. *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*. 2024; 13(1): 254–260 (in Russian). <https://doi.org/10.48612/sbornik-2024-1-58>
32. Kuzina L.B., Kuzmina L.G., Lukin N.D. Starch and sugar-containing substances use in the auxiliary ingredients complex of Russian and foreign pharmaceutical manufacturers (comparative analysis). *Bulletin of Science and Practice*. 2020; 6(11): 132–141 (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/60/14>

33. Красиков А.П., Алексеева И.Г., Деев Л.Е., Панфилов Р.Ю. Применение бетулина для лечения телят при ассоциативных инфекциях. *Ветеринарная патология*. 2010; (1): 49–57. <https://elibrary.ru/obmnft>

34. Фёдоров Ю.Н., Богомолова О.А., Анисина О.В., Романенко М.Н., Царькова К.Н. Диагностические методы оценки передачи пассивного иммунитета у новорожденных телят. *Ветеринарный врач*. 2022; (5): 60–66. <https://www.elibrary.ru/vywrop>

ОБ АВТОРАХ

Лариса Александровна Гнездилова

доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая кафедрой диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных
lag22004@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1007-34>

Серафим Михайлович Розинский

ассистент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных
ser.roz1@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0001-1937-6919>

Юлия Сабировна Круглова

кандидат ветеринарных наук, доцент
y7272@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2953-0745>

Жора Юрикович Мурадян

кандидат биологических наук, доцент
zh_muradyan@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2516-7627>

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, ул. им. Академика Скрябина, 23, Москва, 109472, Россия

33. Krasikov A.P., Alekseeva I.G., Deev L.E., Panfilov R.Yu. Use of betulin for the treatment of calves with associated infections. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2010; (1): 49–57 (in Russian). <https://elibrary.ru/obmnft>

34. Fedorov Yu.N., Bogomolova O.A., Anisina O.V., Romanenko M.N., Tsarkova K.N. Diagnostic methods for assessing transfer of passive immunity in newborn calves. *Veterinary Vrach*. 2022; (5): 60–66 (in Russian).

<https://www.elibrary.ru/vywrop>

ABOUT THE AUTHORS

Larisa Aleksandrovna Gnezdilova

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction
lag22004@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1007-34>

Serafim Mikhailovich Rozinsky

Assistant Professor at the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction
ser.roz1@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0001-1937-6919>

Yulia Sabirovna Kruglova

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor
y7272@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2953-0745>

Zhora Yurikovich Muradyan

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
zh_muradyan@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2516-7627>

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, 23 Academician Skryabin Str., Moscow, 109472, Russia



ВЕТЕРИНАРИЯ
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ
КОМПЛЕКСЕ

XV Международная
научно-практическая конференция

ВЕТЕРИНАРИЯ В АПК
2-4 ИЮНЯ 2026

СОЗДАЁМ КОМФОРТНОЕ ПРОСТРАНСТВО
ДЛЯ ЖИВОГО ОБЩЕНИЯ И РЕШЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ЗАДАЧ АПК



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

НОВОСИБИРСК, УЛ. СТАНЦИОННАЯ, 104

ОТСКАНИРУЙТЕ
И УЗНАЙТЕ
ПОДРОБНОСТИ



УДК 619:616-092.19+636.2.087.74+636.2.034

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67

Е. О. Крупин

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

✉ evgeny.krupin@gmail.com

Поступила в редакцию: 06.10.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Крупин Е. О.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67

Evgeny O. Krupin

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — subdivision of the Federal Research Center «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences», Kazan, Russia

✉ evgeny.krupin@gmail.com

Received by the editorial office: 06.10.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Krupin E. O.

Тепловой стресс у молочного скота в Приволжском федеральном округе Российской Федерации: миф или реальность (ретроспективный анализ с 1970 по 2024 г.)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Тепловой стресс оказывает большое влияние на физиологическое состояние молочного скота, уровень продуктивности, качество получаемого молока. Существуют различные методики его оценки с использованием величин метеорологических параметров.

Методы. Проведен ретроспективный анализ массива климатических данных (за 1970–2024 гг.), собранных на метеостанциях регионов, входящих в состав Приволжского федерального округа. Рассчитаны значения температурно-влажностного индекса (ТВИ), эквивалентного температурного индекса (ЭТИ), проведена оценка комфортности условий внешней среды, установлены степени тяжести теплового стресса.

Результаты. В Приволжском федеральном округе (ПФО) в среднем 16,24% значений индекса ТВИ соответствовали состоянию теплового стресса у молочного скота, причем наибольшая их доля (12,38%) была отнесена к умеренному тепловому стрессу по степени тяжести. Максимальные доли значений ТВИ, характерных для теплового стресса, выявлены в Оренбургской и Саратовской областях (27,49% и 27,44%), минимальная — в Пермском крае (9,87%). Установлена некоторая вариабельность в рейтинге регионов в зависимости от применяемой методики расчета индекса ТВИ. Наибольшая частота ТВИ, характерного для умеренного уровня теплового стресса, зафиксирована в Оренбургской области (19,96%), минимальная — в Пермском крае (7,85%). Средняя доля индекса ЭТИ по субъектам ПФО, отражающая тепловой стресс, составила 14,82%, максимальная — 19,69% (Пензенская обл.), а минимальная — 10,94% (Пермский край).

Ключевые слова: климат, корова, тепловой стресс, температура, влажность, индекс ТВИ, индекс ЭТИ, методика расчета

Для цитирования: Крупин Е. О. Тепловой стресс у молочного скота в Приволжском федеральном округе Российской Федерации: миф или реальность (ретроспективный анализ с 1970 по 2024 г.). *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 59–67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67>

Heat stress in dairy cattle in the Volga Federal District of the Russian Federation: myth or reality (a retrospective analysis from 1970 to 2024)

ABSTRACT

Relevance. Heat stress significantly influences the physiological state of dairy cattle, affecting their milk yield and milk quality. Various techniques exist for assessing heat stress in dairy cattle based on meteorological parameter values.

Methods. A retrospective analysis was performed on climate data arrays collected at weather stations in regions belonging to the Volga Federal District over the period from 1970 to 2024. The values of the temperature and humidity index (THI) and the equivalent temperature index (ETI) were calculated, the comfort of environmental conditions was assessed, and the severity of thermal stress was determined.

Results. In the Volga Federal District, on average, 16.24% of THI values indicated thermal stress in dairy cattle, with the majority (12.38%) categorized as moderate heat stress by severity. The maximum proportions of THI values characteristic of heat stress were found in the Orenburg and Saratov regions (27.49% and 27.44%), the minimum — in the Perm Region (9.87%). Variability in regional ranking was noted depending on the chosen THI calculation methodology. The most frequent occurrence of THI corresponding to moderate-level heat stress was registered in Orenburg region (19.96%), with the least occurring in Perm Krai (7.85%). The average ETI index representing heat stress among Volga Federal District entities was 14.82%, reaching up to 19.69% in Penza region and down to 10.94% in Perm Krai.

Key words: climate, cow, heat stress, temperature, humidity, THI index, ETI index, calculation method

For citation: Krupin E. O. Heat stress in dairy cattle in the Volga Federal District of the Russian Federation: myth or reality (a retrospective analysis from 1970 to 2024). *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 59–67 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67>

Введение/Introduction

Антропогенное изменение климата и связанное с ним глобальное потепление оказывают значительное негативное влияние на продуктивность животноводства, в особенности в регионах, где сельскохозяйственные животные подвержены хроническому тепловому стрессу.

У крупного рогатого скота под воздействием повышенных температур окружающей среды наблюдается комплекс негативных физиологических реакций: снижение потребления корма и общей эффективности использования питательных веществ, увеличение потребности в метаболизируемой энергии для поддержания гомеостаза, нарушение нормального течения метаболических процессов, что в совокупности приводит к существенному снижению продуктивности и ухудшению репродуктивных функций. Следует отметить, что температура воздуха как изолированный параметр не является репрезентативным показателем для оценки степени тепловой нагрузки на организм животного. Для комплексной оценки условий среды обитания и уровня испытываемого животными стресса в современной зоотехнической практике и научных исследованиях применяются интегральные тепловые индексы [1, 2].

Данные индексы, такие как температурно-влажностный (Temperature-Humidity Index, THI, ТВИ), эквивалентный температурный (Equivalent Temperature Index, ETI, ЭТИ), учитывают два или более климатических параметра (например, температуру, влажность, скорость движения воздуха), которые в совокупности определяют интенсивность теплообмена между организмом и окружающей средой.

Применяются для анализа и мощные статистические алгоритмы и достижения в области искусственного интеллекта, глубокого машинного обучения. Причем между вышеописанными индексами для молочного скота можно установить взаимозависимости, которые могут быть описаны соответствующими математическими уравнениями [3–5]. Шагом к построению надежных взаимосвязей при использовании неинвазивных средств и методов регистрации будут ориентация на физиологические показатели, определение их возможных пороговых значений и коэффициентов корреляции [6].

Отмечалось, что сохранение высоких значений ТВИ является более точным показателем для прогнозирования теплового стресса, чем само максимальное значение. ТВИ является общим косвенным показателем, не учитывающим индивидуальные особенности коров. В различных исследованиях для измерения теплового стресса у отдельных животных использовались специфические клинические параметры, такие как частота дыхания и температура тела. Снижение надоев молока является скорее следствием, чем индикатором теплового стресса, поэтому его репрезентативность может быть поставлена под сомнение [7–9].

Тепловой стресс влияет на здоровье и продуктивность молочных коров, особенно на ранних стадиях лактации. Термонеутральная зона для молочного скота — от 5 до 25 °С. Тепловой стресс влияет на молочную продуктивность снижая ее при температуре выше 22 °С [10–12].

Уже при средней температуре (12 °С) коровы меньше лежат и едят, больше стоят, сокращая время жевания жвачки (особенно сухостойные и на автоматизированных фермах). При высоких показателях ТВИ (79–83) у коров общая потребность в корме снижается на 27%, соответственно, сокращается количество энергии, используемой для производства молока (до 40%), оплодотворяемость ухудшается на 35%. При тепловом стрессе у коров учащается дыхание, наблюдается гипервентиляция, что резко увеличивает потерю углекислого газа и приводит к респираторному алкалозу, а обильное потоотделение вызывает электролитный дисбаланс из-за потери значительного количества калия [13, 14].

Биохимический скрининг в условиях теплового стресса выявляет клинически и метаболически значимые изменения. При этом существенно затрагиваются основные пути обмена белков, углеводов и липидов. Развитие процессов свободнорадикального окисления интенсифицируется по мере развития теплового стресса у молочных коров, что обуславливает повышение уровня продуктов перекисного окисления липидов в крови. При ТВИ 77,78 по сравнению с фоновым значением 63,25 содержание диеновых конъюгатов в крови животных увеличивалось на 14%, кетодиенов — на 29,3% ($p \leq 0,01$), малонового диальдегида — на 13,1%. Изменение температуры в разное время года оказывает весьма существенное влияние на некоторые метаболические показатели у молочных коров. Существуют сезонные колебания уровня инсулина и пролактина, однако содержание неэстерифицированных жирных кислот не меняется в любое время года. Эти результаты свидетельствуют о разном влиянии сезонных изменений температуры на ключевые метаболические маркеры, участвующие в энергетическом балансе и лактации у голштино-фризских коров [15–17].

Хронический тепловой стресс вызывает динамические изменения в профилях эритроцитов и лимфоцитов, на короткое время активизирует лейкоцитарный сигнальный путь, центральным компонентом которого является транскрипционный фактор NF- κ B p65, подавляя при этом передачу сигналов в Т-клетках. Вероятно, это происходит в ответ на повышение концентрации циркулирующего эндотоксина. Наблюдаются активация тромбоцитов и каскада коагуляции. Скорее всего, это вызвано микрососудистыми повреждениями, вызванными тепловым стрессом, изменением гематокрита или расширением сосудов. Как результат, повышается риск развития различных заболеваний [18].

Корреляционный анализ показал обратную зависимость суточного удоя, массовой доли жира, белка и лактозы в молоке с ТВИ. Количество соматических клеток имеет прямую зависимость. Тепловой стресс снижает надой на 4,16–14,42%. При высоких значениях ТВИ качество молока ухудшается: снижается содержание белка, сухого обезжиренного молочного остатка и лактозы, а также уровень солей. Стабильные показатели содержания жира и плотности ухудшаются как за счет сезонного фактора, так и высокого ТВИ. При низком ТВИ чаще встречается субклинический мастит [19–21].

Исследователи изучали влияние теплового стресса на здоровье молочной железы, воспроизводство. Высокий ТВИ (72 и выше) ухудшает репродуктивную функцию: у коров снижается проявление феномена половой охоты, уменьшается приток крови к матке и изменяется уровень прогестерона. Коровы в состоянии теплового стресса имеют уменьшенные в размере и плотные яичники без фолликулов, что соответствует гипофункции яичников [22–24].

Апробированы неинвазивные методы измерения температуры поверхности тела животных с помощью инфракрасной термографии. Определены коэффициенты корреляции со значениями ТВИ. Так, с температурой поверхности бедер он составляет 0,67–0,87, а с температурой вымени — 0,81. Предложена инфракрасная термография внутреннего угла глаза в качестве неинвазивного инструмента оценки температуры тела животных, их реакции на тепловой стресс [25, 26].

Разработана математическая модель теплообмена коровы с окружающей средой, которая включает в себя теплоотдачу излучением, испарением, конвекцией и теплопроводностью. Подробно описан процесс теплоотдачи животного от внутренних органов к поверхности кожного покрова. Рассмотрены особенности теплоотдачи испарением с учетом влияния загрязнения кожного покрова животного. Установлено, что наиболее эффективна влажная очистка, при которой температура кожного покрова за счет увеличения теплоотдачи испарением снижается на 4,1 °С, тогда как после сухой очистки она составляет 0,7 °С. Частота дыхания у животных после влажной чистки снижается на 9,63%, а после сухой — на 6,08%. Частота сердечных сокращений у животных после сухой чистки снижается на 4,45%, а при влажной — на 12,95% [27–29].

Применение крупнокапельного орошения животных способно снизить негативное влияние высокой температуры в период теплового стресса, отражается на повышении молочной продуктивности и улучшении качества молока, содержании жира и белка, уровне макро- и микроэлементов. Так, наблюдали, что при орошении продуктивность лактирующих коров возрастала на 13,9%,

содержание жира и белка в молоке увеличивалось на 0,18 и 0,07 п. п. [30, 31].

Эффективно создание искусственной тени и применение различных кормовых добавок и средств, например добавок с хромом для адаптации животных и снижения негативного влияния теплового стресса. Не обойтись и без применения дополнительных источников энергии в рационах [32, 33].

Перспективно использование активаторов рубцовой микрофлоры: увеличивают потребление корма на 14–16%, молочную продуктивность — на 1,2–1,3 кг (или снижают падение надоев, поддерживая их стабильно на более высоком уровне) [34]. Фитопрепараты на основе коры ивы и осины (100 мл на одно животное) снижают уровень кортизола в сыворотке крови коров при тепловом стрессе ($40,8 \pm 20,2$ нмоль/л против $62,1 \pm 27,8$ нмоль/л в контроле) [35].

В целом нужны различные стратегии адаптации скота, охватывающие широкий спектр вопросов: генетическое улучшение стада, интеграция растениеводства и животноводства, точное животноводство и национальные меры по смягчению последствий изменения климата. Современные методы отбора молочного скота, устойчивого к высоким температурам, основаны на статистических моделях. Предложен гибридный подход с использованием искусственного интеллекта для улучшения селекции. Он объединяет искусственный интеллект с генетической моделью, связывающей устойчивость к высоким температурам и снижение надоев при ТВИ выше 60 [36, 37]. Особое внимание нужно уделить усовершенствованию методики расчетов индексов, разработке протоколов оценки состояния животных, улучшению условий их содержания, инфраструктуры, ветеринарного обслуживания и повышению компетенций специалистов в сельском хозяйстве [38, 39].

Цель работы — проведение ретроспективного анализа ТВИ и ЭТИ внешней среды в регионах ПФО за 1970–2024 гг. на предмет объема распространения и тяжести проявления теплового стресса у молочного скота.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполнены в 2025 г. в отделе физиологии, биохимии, генетики и питания животных Татарского научно-исследовательского института сельского хозяйства — обособленного структурного подразделения ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»» (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Республика Татарстан (Татарстан), Российская Федерация).

Проведен ретроспективный анализ массива климатических данных¹ с 1970 по 2024 г. (за 55 лет),

¹ Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Основные метеорологические параметры (сроки). Свидетельство о государственной регистрации базы данных от 10 апреля 2014 года № 2014620549.

собранных на метеостанциях регионов (Республика Башкортостан, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Татарстан (Татарстан), Удмуртская Республика, Чувашская Республика — Чувашия, Пермский край, Кировская, Нижегородская, Оренбургская, Пензенская, Самарская, Саратовская, Ульяновская области), входящих в состав ПФО РФ, за летние месяцы (июнь — август) 1970–2024 гг. в 6-й, 9-й, 12-й и 15-й синоптические сроки по Гринвичскому меридиану, что соответствует местным временным отметкам в 10:00, 13:00, 16:00 и 19:00 соответственно.

На основании результатов анализа рассчитали значения ТВИ и ЭТИ внешней среды. Расчет ТВИ осуществляли 7 разными методами, разработанными Е.С. Thom (1959)², W. Bianca (1962)³, H.H. Kibler (1964)⁴, NRC (1971)⁵, M.K. Yousef (1985)⁶, T.L. Mader *et al.* (2006)⁷, A. Berman *et al.* (2016)⁸. Величину ЭТИ определили согласно методике F.C. Baeta (1987)⁹.

Оценку комфортности внешней среды для молочного скота проводили с использованием шкал индексов: ТВИ, предложенного G.L. Hahn *et al.* (2009)¹⁰, и ЭТИ, разработанного F.C. Baeta (1987).

Обработку данных провели биометрическими методами, рекомендованными А.Н. Плохинским (Москва, 1970 г.)¹¹, используя пакет офисных программ Microsoft Office, Microsoft Excel (США).

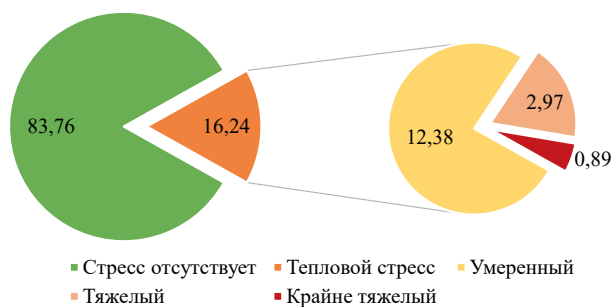
Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ результатов, представленных на рисунке 1, показывает, что за исследуемый 55-летний период (1970–2024 гг.) в ПФО всего 16,24% значений ТВИ, вычисленных по различным методикам, соответствовали состоянию теплового стресса у молочного скота, в то время как подавляющее большинство значений (83,76%) свидетельствовали об отсутствии подобного явления. По уровню интенсивности или степени тяжести, основываясь на величинах индекса, тепловой стресс классифицирован на три категории: умеренный, тяжелый и крайне тяжелый.

Наибольшее количество значений (12,38%) соответствовало умеренному

Рис. 1. Структура значений ТВИ и степеней тяжести теплового стресса в ПФО за 1970–2024 гг., %

Fig. 1. The structure of the THI values and degrees of heat stress severity in the Volga Federal District from 1970 to 2024, %

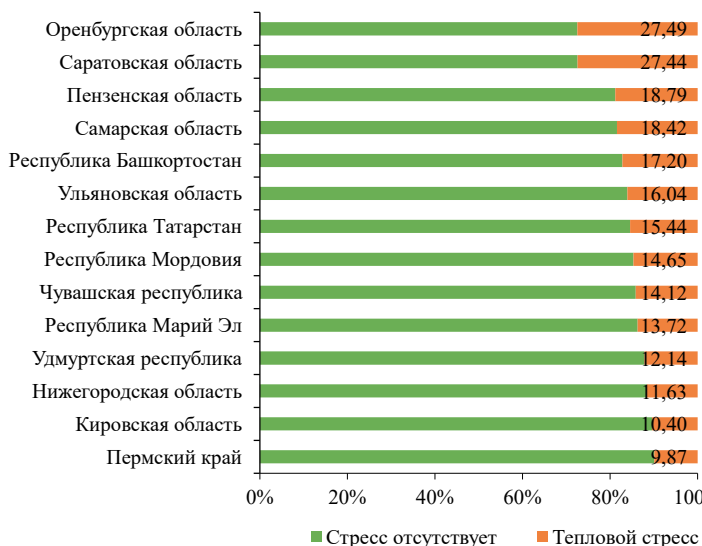


тепловому стрессу, 2,97% — тяжелому, 0,89% — крайне тяжелому.

Анализ данных, отображенных на рисунке 2, выявил существенные различия субъектов ПФО по доле средних значений ТВИ, установленных всеми перечисленными выше методами, характерных для той или иной тяжести теплового стресса, с диапазоном колебаний от 9,87 до 27,49%. Наименьшая доля значений, отражающих тепловой стресс у молочного скота, зарегистрирована в Пермском крае (9,87%), несколько выше — в Кировской

Рис. 2. Структура средних значений ТВИ в субъектах ПФО за 1970–2024 гг.

Fig. 2. The structure of the average THI values in the Regions of the Volga Federal District from 1970 to 2024



² Thom E.C. The discomfort index / E.C. Thom // Weatherwise. 1959; 12: 57–59.

³ Bianca W. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle / W. Bianca // Nature. 1962; 195: 251–252.

⁴ Kibler H.H. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses / H.H. Kibler // Research Bulletin Missouri Agricultural Experiment Station. 1964; 862: 1–42.

⁵ National Research Council (NRC). A guide to environmental research on animals. Washington: National Academy of Sciences. 1971; 374.

⁶ Yousef M.K. Stress physiology in livestock. Basic principles / M.K. Yousef. FL: CRC Press. 1985; 1: 217.

⁷ Mader T.L. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle / T.L. Mader, M.S. Davis, T. Brown-Brandl // Journal of Dairy Science. 2006; 84(3): 712–719.

⁸ Berman A. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress / A. Berman, M. Kaim, T. Horovitz // International Journal of Biometeorology. 2016; 60(10): 1453–1462.

⁹ Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating dairy cows / F.C. Baeta, N.F. Meador, M.D. Shanklin *et al.* // American Society of Agricultural Engineers. 1987; 874015.

¹⁰ Thermal indices and their applications for livestock environments. In Livestock energetics and thermal environmental management / G. Hahn, J.B. Gaughan, T.L. Mader *et al.* Ed. J.A. De Shazer. USA. MI, St. Joseph American, Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009; 113–130.

¹¹ Плохинский А.Н. Биометрия. 2-е изд. / А.Н. Плохинский. М.: МГУ. 1970; 367.

области (10,40%). Максимальная доля значений, свойственных тепловому стрессу, характерна для Оренбургской и Саратовской областей — 27,49% и 27,44% соответственно.

Дополнительно стоит выделить два субъекта Федерации, которые демонстрировали относительно близкие величины рассматриваемого параметра в диапазоне 18,42–18,79%, — Пензенская и Самарская области. Республика Татарстан заняла 7-ю позицию в рейтинге регионов по доле значений ТВИ, соответствующих тепловому стрессу у молочного скота за изучаемый 55-летний период с показателем 15,44%.

Анализ результатов, представленных на рисунке 3, демонстрирует значительное влияние различных методологических подходов к вычислению ТВИ на величину самого индекса, что сказывается на количественных показателях, отражающих долю значений индекса, соответствующих тепловому стрессу у молочного скота или его отсутствию. Методика, предложенная Е.С. Thom (1959), выявила наибольшую долю значений, ассоциированных с тепловым стрессом, и наименьшую долю значений, соответствующих его отсутствию.

В то же время метод W. Bianca (1962) показал противоположные результаты, выявив наименьшую долю значений, указывающих на тепловой стресс, и наибольшую долю значений, характерных для его отсутствия среди всех выбранных для исследования методик. Следует отметить, что выбор конкретной методики расчета индекса теплового стресса оказывает определенное влияние на ранжирование субъектов ПФО в общем рейтинге регионов. Например, при использовании методик Е.С. Thom (1959) и W. Bianca (1962) первые две позиции в рейтинге по распространению теплового стресса занимают Саратовская и Оренбургская области соответственно.

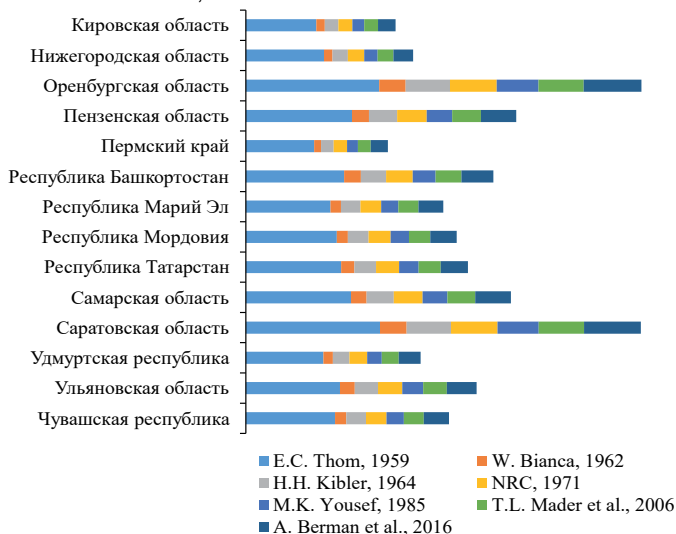
При применении методик Н.Н. Kibler (1964), NRC (1971), М.К. Yousef (1985), Т.Л. Mader *et al.* (2006) и А. Berman *et al.* (2016) на первое место выходит Оренбургская область, а Саратовская область занимает вторую позицию. Третья позиция в рейтинге по доле значений ТВИ, характерных для теплового стресса у молочного скота, при использовании методик Е.С. Thom (1959), W. Bianca (1962), Н.Н. Kibler (1964), NRC (1971), М.К. Yousef (1985) и Т.Л. Mader *et al.* (2006) принадлежит Пензенской области.

При применении методики А. Berman *et al.* (2016) эту позицию занимает Самарская область. Независимо от выбранной методики расчета индекса Пермский край замыкает рейтинг регионов по доле значений, соответствующих критерию «тепловой стресс», демонстрируя минимальную долю соответствующих значений ТВИ.

При использовании метода W. Bianca (1962) Нижегородская область занимает предпоследнюю позицию в рейтинге, в то время как при

Рис. 3. Структура значений ТВИ в субъектах ПФО за 1970–2024 гг., соответствующих тепловому стрессу, в зависимости от применяемого метода расчета индекса, %

Fig. 3. Structure of THI values in the Volga Federal District regions from 1970 to 2024 corresponding to heat stress, depending on the index calculation method, %



применении всех остальных методик на этой позиции располагается Кировская область. Что касается Татарстана, то при использовании метода Е.С. Thom (1959) республика занимает 6-ю позицию в рейтинге регионов, тогда как при применении других методик расчета ТВИ перемещается на 7-ю позицию рейтинга среди всех 14 анализируемых субъектов.

Вышеизложенное свидетельствует о том, что существует некоторая вариабельность результата в оценке теплового стресса в зависимости от применяемой методики расчета ТВИ.

Анализ данных, представленных на рисунке 4, показывает, что во всех субъектах ПФО преобладали значения ТВИ, соответствующие умеренному тепловому стрессу, значительно реже — тяжелому, а доля значений, характерных для крайне тяжелого теплового стресса, составляла от 0,34 до 2,03%. Среди 14 рассмотренных субъектов наибольшая частота ТВИ, характерного для умеренного уровня теплового стресса, зафиксирована в Оренбургской области (19,96%), далее следуют Саратовская (19,62%) и Пензенская (14,38%) области.

Такие субъекты, как Самарская и Ульяновская области, республики Башкортостан, Татарстан, Мордовия, Чувашия, Марий Эл, занимают более низкие позиции в рейтинге с долей соответствующих значений, укладывающихся в диапазон от 10,67 до 14,09%. Доля аналогичных значений в Удмуртской Республике и Нижегородской области составляет 9,55% и 9,17% соответственно. В Кировской области аналогичная доля значений ТВИ, характерных для умеренного теплового стресса у молочного скота, составляет 8,11%, тогда как минимальная (7,85%) наблюдается в Пермском крае.

Максимальная доля значений ТВИ, характерных для тяжелого теплового стресса, была зарегистрирована в Саратовской и Оренбургской областях — 5,73% и 5,51% соответственно. Самыми

низкими долями ТВИ, свойственного тяжелому тепловому стрессу, характеризовались Кировская область и Пермский край — 1,81% и 1,69% соответственно. Республика Татарстан отличалась долей значений ТВИ, соответствующих умеренному тепловому стрессу, составившей 11,94%, что на 0,44% ниже среднего показателя по ПФО. Доля значений, характерных для тяжелого теплового стресса, была на 0,23% ниже среднего показателя, а доля значений крайне тяжелого теплового стресса оказалась ниже среднего по ПФО на 0,14%.

Анализ результатов оценки ЭТИ (рис. 5) показал, что за исследуемые 55 лет средняя доля индекса, отражающая тепловой стресс у молочного скота в субъектах ПФО по данному показателю, составила 14,82%. Это значение ниже доли ТВИ, характерных для теплового стресса у молочного скота, на 1,42%. Наибольшая доля значений ЭТИ, соответствующих тепловому стрессу, была зафиксирована в Пензенской области — 19,69%.

В Республике Башкортостан — 18,48%, что на 1,21% меньше, чем в Пензенской области. Республика Татарстан заняла третье место по доле значений ЭТИ, отвечающих критериям теплового стресса, с показателем 17,78%. Минимальная доля значений ЭТИ, характерных для теплового стресса, была выявлена в Пермском крае — 10,94%. В Кировской области этот показатель составил 11,29%, что на 0,35% выше, чем в Пермском крае. Оренбургская и Саратовская области расположились на четвертой и пятой позициях рейтинга с долями ЭТИ, соответствующих тепловому стрессу, составляющими 16,77% и 16,23% соответственно.

Выводы/Conclusions

Проблема теплового стресса в ПФО имеет ярко выраженный региональный аспект и проявляется с различной интенсивностью в зависимости от географического расположения регионов и их природно-климатических особенностей. В среднем 16,24% значений ТВИ соответствовали состоянию теплового стресса у молочного скота. Наибольшая их доля (12,38%) характерна для умеренного по тяжести теплового стресса.

Максимальные доли значений ТВИ, свойственных для теплового стресса, зарегистрированы в Оренбургской и Саратовской областях — 27,49% и 27,44% соответственно, минимальная — в Пермском крае (9,87%).

Установлена некоторая вариабельность в рейтинге регионов в зависимости от применяемой методики расчета ТВИ, однако первые две строки делят между собой Саратовская и Оренбургская

Рис. 4. Структура ТВИ в зависимости от степени тяжести теплового стресса в субъектах ПФО за 1970–2024 гг., %

Fig. 4. Structure of THI indices depending on the severity degree of heat stress in the Volga Federal District regions from 1970 to 2024, %

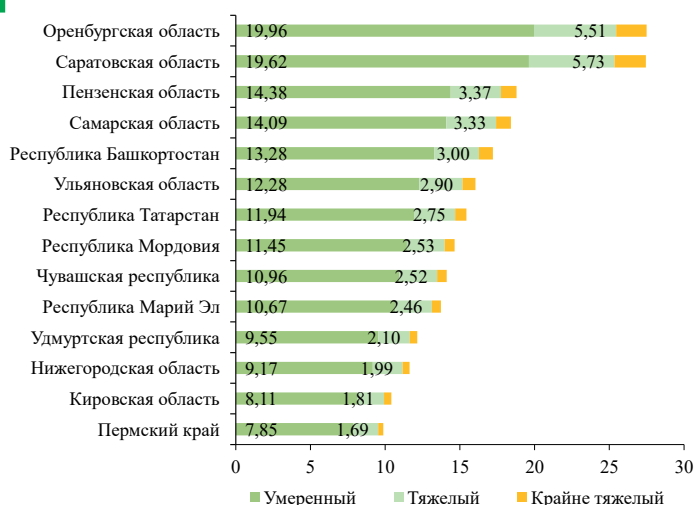


Рис. 5. Структура значений ЭТИ в субъектах ПФО за 1970–2024 гг.

Fig. 5. Structure of ETI index values in the Volga Federal District regions from 1970 to 2024.



области, чередуясь друг с другом в зависимости от того или иного метода расчета, а замыкает рейтинг Пермский край независимо от выбранной методики. Наибольшая частота ТВИ, характерного для умеренного уровня теплового стресса, зафиксирована в Оренбургской области (19,96%), минимальная — в Пермском крае (7,85%). Средняя доля ЭТИ, отражающая тепловой стресс, по субъектам ПФО составила 14,82%, максимальная (19,69%) характерна для Пензенской области, а минимальная (10,94%) — для Пермского края.

Полученные результаты позволяют оценить объемы и степень тяжести теплового стресса в региональном аспекте, могут учитываться при разработке стратегий адаптации молочного скота к меняющимся условиям окружающей среды.

Стоит учитывать, что различные методологические подходы к вычислению ТВИ и ЭТИ оказывают некоторое влияние на количественные показатели, отражающие как долю значений индексов, соответствующих тепловому стрессу или его отсутствию, так и на отдельные численные значения, отражающие тяжесть теплового стресса.

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 в рамках государственного задания «Совершенствование комплексных отечественных технологий селекции, растениеводства и животноводства на основе идентификации высокоценных генотипов, молекулярно-генетических методов, биотехнологий, конструирования адаптивных и высокопродуктивных агробиocenozов и агроэкосистем для производства экологически безопасной и функциональной продукции» (125031003428-9).

FUNDING

The work was carried out as part of the state assignment "Improvement of integrated domestic technologies of selection, plant growing and livestock farming based on identification of high-value genotypes, molecular genetic methods, biotechnology, construction of adaptive and highly productive agrobiocenoses and agroecosystems for production of ecologically safe and functional products" (125031003428-9).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Neto J.B.S., Brito L.F., Mota L.F.M., Silva M.R.G., Rodrigues G.R.D., Baldi F. Exploring the impact of heat stress on feed efficiency in tropical beef cattle using genomic reaction norm models. *Animal*. 2025; 19(9): 101612.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101612>
- Yan G., Li H., Shi Z. Evaluation of Thermal Indices as the Indicators of Heat Stress in Dairy Cows in a Temperate Climate. *Animals*. 2021; 11(8): 2459.
<https://doi.org/10.3390/ani11082459>
- Dimov D., Penev T., Marinov I. Thermal microclimate assessment in dairy cow milking parlors: Seasonal variations in temperature-humidity index and implications for heat stress. *Veterinary World*. 2025; 18(7): 2024–2030.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2024-2030>
- Garcia C.A.P., Bovo M., Barbaresi A., Santolini E., Torreggiani D., Tassinari P. Predicting Equivalent Temperature Index in a Cattle Barn with NeuralProphet Model. *2024 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*. IEEE. 2024; 419–423.
<https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor63043.2024.10948809>
- Wang X. et al. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). *Journal of Thermal Biology*. 2018; 76: 165–170.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.013>
- Li S., Gebremedhin K.G., Lee C.N., Collier R.J. Evaluation of Thermal Stress Indices for Cattle. *2009 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009; 096003.
<https://doi.org/10.13031/2013.27441>
- Herrera-González J.L. et al. Identifying the best indicator for forecasting the temperature-humidity index for dairy cattle and its historical pattern (1940–2024) in North-Central Mexico. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 12: 101368.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101368>
- Hoffmann G., Herbut P., Pinto S., Heinicke J., Kuhla B., Amon T. Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2020; 199: 83–96.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.017>
- Idris M., Uddin J., Sullivan M., McNeill D.M., Phillips C.J.C. Non-Invasive Physiological Indicators of Heat Stress in Cattle. *Animals*. 2021; 11(1): 71.
<https://doi.org/10.3390/ani11010071>
- Džermeikaitė K., Krištolaitytė J., Malašauskienė D., Arlauskaitė S., Girdauskaitė A., Antanaitis R. The Impact of Heat Stress on Dairy Cattle: Effects on Milk Quality, Rumination Behaviour, and Reticulorumen pH Response Using Machine Learning Models. *Biosensors*. 2025; 15(9): 608.
<https://doi.org/10.3390/bios15090608>
- Второй В.Ф., Второй С.В. Информационная модель влияния теплового стресса на молочную продуктивность коров. *Аграрный научный журнал*. 2022; (2): 69–72.
<https://doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp69-72>
- Бокзонади А. Тепловой стресс. Контроль состояния дойных коров. Эффективное животноводство. 2021; (3): 98–101.
<https://elibrary.ru/ezqqve>
- Hut P.R., Scheurwater J., Nielen M., van den Broek J., Hostens M.M. Heat stress in a temperate climate leads to adapted sensor-based behavioral patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(8): 6909–6922.
<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21756>
- El Shewy A.A.E.H. Impact of heat stress on the performance of dairy cows: A mini-review. *Veterinary Research Notes*. 2025; 5(6): 48–54.
<https://doi.org/10.5455/vrn.2025.e56>
- Белюсов А.И., Шкуратова И.А., Красноперов А.С., Опарина О.Ю., Малков С.В. Влияние теплового стресса на коров в сухостойный и послеродовой периоды. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2022; (3): 93–101.
<https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-64-3-93-101>

REFERENCES

- Neto J.B.S., Brito L.F., Mota L.F.M., Silva M.R.G., Rodrigues G.R.D., Baldi F. Exploring the impact of heat stress on feed efficiency in tropical beef cattle using genomic reaction norm models. *Animal*. 2025; 19(9): 101612.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101612>
- Yan G., Li H., Shi Z. Evaluation of Thermal Indices as the Indicators of Heat Stress in Dairy Cows in a Temperate Climate. *Animals*. 2021; 11(8): 2459.
<https://doi.org/10.3390/ani11082459>
- Dimov D., Penev T., Marinov I. Thermal microclimate assessment in dairy cow milking parlors: Seasonal variations in temperature-humidity index and implications for heat stress. *Veterinary World*. 2025; 18(7): 2024–2030.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2024-2030>
- Garcia C.A.P., Bovo M., Barbaresi A., Santolini E., Torreggiani D., Tassinari P. Predicting Equivalent Temperature Index in a Cattle Barn with NeuralProphet Model. *2024 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*. IEEE. 2024; 419–423.
<https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor63043.2024.10948809>
- Wang X. et al. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). *Journal of Thermal Biology*. 2018; 76: 165–170.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.013>
- Li S., Gebremedhin K.G., Lee C.N., Collier R.J. Evaluation of Thermal Stress Indices for Cattle. *2009 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009; 096003.
<https://doi.org/10.13031/2013.27441>
- Herrera-González J.L. et al. Identifying the best indicator for forecasting the temperature-humidity index for dairy cattle and its historical pattern (1940–2024) in North-Central Mexico. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 12: 101368.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101368>
- Hoffmann G., Herbut P., Pinto S., Heinicke J., Kuhla B., Amon T. Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2020; 199: 83–96.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.017>
- Idris M., Uddin J., Sullivan M., McNeill D.M., Phillips C.J.C. Non-Invasive Physiological Indicators of Heat Stress in Cattle. *Animals*. 2021; 11(1): 71.
<https://doi.org/10.3390/ani11010071>
- Džermeikaitė K., Krištolaitytė J., Malašauskienė D., Arlauskaitė S., Girdauskaitė A., Antanaitis R. The Impact of Heat Stress on Dairy Cattle: Effects on Milk Quality, Rumination Behaviour, and Reticulorumen pH Response Using Machine Learning Models. *Biosensors*. 2025; 15(9): 608.
<https://doi.org/10.3390/bios15090608>
- Vtory V.F., Vtory S.V. Information model of heat stress effect on lactation performance of cows. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; (2): 69–72 (in Russian).
<https://doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp69-72>
- Bokzonadi A. Heat stress. Monitoring the condition of dairy cows. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2021; (3): 98–101 (in Russian).
<https://elibrary.ru/ezqqve>
- Hut P.R., Scheurwater J., Nielen M., van den Broek J., Hostens M.M. Heat stress in a temperate climate leads to adapted sensor-based behavioral patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(8): 6909–6922.
<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21756>
- El Shewy A.A.E.H. Impact of heat stress on the performance of dairy cows: A mini-review. *Veterinary Research Notes*. 2025; 5(6): 48–54.
<https://doi.org/10.5455/vrn.2025.e56>
- Belousov A.I., Shkuratova I.A., Krasnoperov A.S., Oparina O.Yu., Malkov S.V. Influence of heat stress on cows during the dry and postpartum periods. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022; (3): 93–101 (in Russian).
<https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-64-3-93-101>

16. Рудь Е.Н., Кузьмина Е.В., Семененко М.П., Кощаев А.Г., Кощаева О.В. Состояние перекисного окисления липидов в организме молочных коров при тепловом стрессе. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021; 92: 238–244. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-92-238-244>
17. Baccouri W. *et al.* The effect of seasonal changing temperature on blood metabolic indicators in Holstein Friesian cows. *Cogent Food & Agriculture*. 2025; 11(1): 2550498. <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2550498>
18. Koch F., Viergutz T., Kühn C., Kuhla B. Dynamic immune and molecular responses to chronic heat stress in blood and peripheral blood mononuclear cells of dairy cows. *Frontiers in Immunology*. 2025; 16: 1633453. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1633453>
19. Кузьмина Е.В., Рудь Е.Н., Семененко М.П., Абрамов А.А., Рогалева Е.В. Патологические особенности теплового стресса у коров с гепатобилиарными нарушениями. *Ветеринария Кубани*. 2022; (3): 21–23. <https://elibrary.ru/sywnzn>
20. Ekine-Dzivenu C.C. *et al.* Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livestock Science*. 2020; 242: 104314. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
21. Ferag A. *et al.* Heat stress effect on fertility of two imported dairy cattle breeds from different Algerian agro-ecological areas. *International Journal of Biometeorology*. 2024; 68(12): 2515–2529. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02761-y>
22. Lemal P., Schroyen M., Gengler N. Genetic parameters and relevance for heat stress assessment in dairy cattle of 2 udder health traits: Somatic cell score and differential somatic cell count. *Journal of Dairy Science*. 2025; 108(9): 9930–9945. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26227>
23. Martínez E.N. *et al.* Impacts of heat stress under oceanic climate on fertility and reproductive physiology of dairy cows subjected to hormonal synchronization. *International Journal of Biometeorology*. 2025; 69(9): 2325–2336. <https://doi.org/10.1007/s00484-025-02969-6>
24. Ковалева Г.П., Лапина М.Н., Сулыга Н.В. Влияние теплового стресса на воспроизводительную способность молочных коров и способ ее коррекции. *Сельскохозяйственный журнал*. 2022; (2): 58–65. <https://elibrary.ru/becerp>
25. Hristov H. Using Infrared Thermography to Study the Impact of Dangerous Heat Stress on Thigh and Udder Temperature in Dairy Cows. *Engineering Proceedings*. 2025; 104(1): 94. <https://doi.org/10.3390/engproc2025104094>
26. Singaravadivelan A. *et al.* Non-invasive heat stress assessment in Murrah buffalo, crossbred (*Bos taurus* × *Bos indicus*) cattle and Vechur cattle using inner canthus infrared thermography. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57(6): 285. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04537-x>
27. Волхонков М.С., Иванов Ю.Г., Максимов И.И., Понизовкин Д.А., Жумагулов Ж.Б. Математическая модель теплообмена коровы с окружающей средой при тепловом стрессе с учетом терморегуляционной функции животного. *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2023; (4): 42–50. <https://elibrary.ru/bguazq>
28. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А., Жумагулов Ж.Б., Мошонкин А.М. Математическая модель очистки кожного покрова коров для повышения интенсивности теплового обмена при тепловых стрессах. *Агроинженерия*. 2023; 25(6): 16–23. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-16-23>
29. Иванов Ю.Г., Баймуханов Д.А., Борулько В.Г., Понизовкин Д.А., Джанабекова Г.К. Влияние очистки кожного покрова коров на физиологические показатели при тепловых стрессах в теплый период времени. *Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан*. 2020; (4): 100–108 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.109>
30. Горлов И.Ф. и др. Влияние капельного орошения на продуктивность и качество молока коров в условиях теплового стресса. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2024; (5): 159–166. <https://elibrary.ru/ehocku>
31. Антипова Т.А. и др. Влияние теплового стресса на молочную продуктивность коров и качественные характеристики молока. *Молочное и мясное скотоводство*. 2025; (2): 49–53. <https://doi.org/10.33943/MMS.2025.34.21.010>
32. Gomes R. *et al.* Effects of artificial shade and chromium supplementation during mid and late gestation of beef cows under heat stress: cow performance and thermotolerance. *Journal of Animal Science*. 2025; 103(S2): 85. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf170.098>
16. Rud E.N., Kuzminova E.V., Semenenko M.P., Koshchaev A.G., Koshchaeva O.V. The state of lipid peroxidation in the body of dairy cows under heat stress. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2021; 92: 238–244 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-92-238-244>
17. Baccouri W. *et al.* The effect of seasonal changing temperature on blood metabolic indicators in Holstein Friesian cows. *Cogent Food & Agriculture*. 2025; 11(1): 2550498. <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2550498>
18. Koch F., Viergutz T., Kühn C., Kuhla B. Dynamic immune and molecular responses to chronic heat stress in blood and peripheral blood mononuclear cells of dairy cows. *Frontiers in Immunology*. 2025; 16: 1633453. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1633453>
19. Kuzminova E.V., Rud E.N., Semenenko M.P., Abramov A.A., Rogaleva E.V. Pathophysiological features of heat stress in cows with hepatobiliary disorders. *Veterinaria Kubani*. 2022; (3): 21–23 (in Russian). <https://elibrary.ru/sywnzn>
20. Ekine-Dzivenu C.C. *et al.* Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livestock Science*. 2020; 242: 104314. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
21. Ferag A. *et al.* Heat stress effect on fertility of two imported dairy cattle breeds from different Algerian agro-ecological areas. *International Journal of Biometeorology*. 2024; 68(12): 2515–2529. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02761-y>
22. Lemal P., Schroyen M., Gengler N. Genetic parameters and relevance for heat stress assessment in dairy cattle of 2 udder health traits: Somatic cell score and differential somatic cell count. *Journal of Dairy Science*. 2025; 108(9): 9930–9945. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26227>
23. Martínez E.N. *et al.* Impacts of heat stress under oceanic climate on fertility and reproductive physiology of dairy cows subjected to hormonal synchronization. *International Journal of Biometeorology*. 2025; 69(9): 2325–2336. <https://doi.org/10.1007/s00484-025-02969-6>
24. Kovaleva G.P., Lapina M.N., Sulyga N.V. Effect of heat stress on the reproductive capacity of dairy cows and the method for its improvement. *Agricultural journal*. 2022; (2): 58–65 (in Russian). <https://elibrary.ru/becerp>
25. Hristov H. Using Infrared Thermography to Study the Impact of Dangerous Heat Stress on Thigh and Udder Temperature in Dairy Cows. *Engineering Proceedings*. 2025; 104(1): 94. <https://doi.org/10.3390/engproc2025104094>
26. Singaravadivelan A. *et al.* Non-invasive heat stress assessment in Murrah buffalo, crossbred (*Bos taurus* × *Bos indicus*) cattle and Vechur cattle using inner canthus infrared thermography. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57(6): 285. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04537-x>
27. Volkhonov M.S., Ivanov Yu.G., Maksimov I.I., Ponizovkin D.A., Zhumagulov Zh.B. A mathematical model of the heat exchange of a cow with the environment under thermal stress, taking into account the thermoregulatory function of the animal. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem region*. 2023; (4): 42–50 (in Russian). <https://elibrary.ru/bguazq>
28. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Zhumagulov Zh.B., Moshonkin A.M. Mathematical model of cow skin cleaning used to increase heat exchange intensity under heat stresses. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023; 25(6): 16–23 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-16-23>
29. Ivanov Yu.G., Baimukanov D.A., Borulko V.G., Ponizovkin D.A., Dzhanaabekova G.K. Influence of cow skin cleaning on physiological parameters under heat stresses in warm season. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020; (4): 100–108. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.109>
30. Gorlov I.F. *et al.* The influence of drip irrigation on dairy productivity of lactating cows and quality of milk under the heat stress. *Proceedings of Nizhnevolskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2024; (5): 159–166 (in Russian). <https://elibrary.ru/ehocku>
31. Antipova T.A. *et al.* The effect of heat stress on dairy productivity of cows and milk quality characteristics. *Dairy and beef cattle farming*. 2025; (2): 49–53 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2025.34.21.010>
32. Gomes R. *et al.* Effects of artificial shade and chromium supplementation during mid and late gestation of beef cows under heat stress: cow performance and thermotolerance. *Journal of Animal Science*. 2025; 103(S2): 85. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf170.098>

33. Киркланд Р.-М., Дмитрук С., Журавлев Е. Дополнительный источник энергии при тепловом стрессе у коров. *Комбикорма*. 2020; (6): 74–76.
https://elibrary.ru/mtxkof

34. Григорьев Д.Ю., Пирогов Д.А. Эффективность кормовых средств защиты коров при тепловом стрессе. *Комбикорма*. 2024; (6): 49–54.
https://doi.org/10.69539/2413-287X-2024-06-4-222

35. Зенкин А.С., Свитин А.И., Калязина Н.Ю., Волков Д.В., Куприянов А.В., Палаткин Д.А. Гормональный статус коров при тепловом стрессе на фоне применения фитопрепаратов. *Иппология и ветеринария*. 2019; (4): 74–79.
https://elibrary.ru/gergys

36. Ferreira N.C.R., Andrade R.R., Ferreira L.N. Climate change impacts on livestock in Brazil. *International Journal of Biometeorology*. 2024; 68(12): 2693–2704.
https://doi.org/10.1007/s00484-024-02778-3

37. Chlingaryan A., Thomson P.C., Garcia S.C., Clark C.E.F. An AI-based hybrid model for dairy cattle heat tolerance phenotype. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 12: 101455.
https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101455

38. Hernandez A., Galina C.S., Geffroy M., Jung J., Westin R., Berg C. Cattle welfare aspects of production systems in the tropics. *Animal Production Science*. 2022; 62(13): 1203–1218.
https://doi.org/10.1071/AN21230

39. Довлатов И.М., Комков И.В., Базаев С.О., Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р. Влияние теплового стресса, определение температурно-влажностного индекса. *Аграрная наука*. 2024; (10): 171–176.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176

33. Kirkland R.-M., Dmitruk S., Zhuravlev E. An additional source of energy for heat stress in cows. *Kombikorma*. 2020; (6): 74–76 (in Russian).
https://elibrary.ru/mtxkof

34. Grygoriev D.Yu., Pirogov D.A. Efficiency of feed products to protect cows under heat stress. *Kombikorma*. 2024; (6): 49–54 (in Russian).
https://doi.org/10.69539/2413-287X-2024-06-4-222

35. Zenkin A.S., Svitin A.I., Kalyazina N.Yu., Volkov D.V., Kupriyanov A.V., Palatkin D.A. Hormonal status of cows at heat stress on the background of application phytopreparations. *Hippology and Veterinary Medicine*. 2019; (4): 74–79 (in Russian).
https://elibrary.ru/gergys

36. Ferreira N.C.R., Andrade R.R., Ferreira L.N. Climate change impacts on livestock in Brazil. *International Journal of Biometeorology*. 2024; 68(12): 2693–2704.
https://doi.org/10.1007/s00484-024-02778-3

37. Chlingaryan A., Thomson P.C., Garcia S.C., Clark C.E.F. An AI-based hybrid model for dairy cattle heat tolerance phenotype. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 12: 101455.
https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101455

38. Hernandez A., Galina C.S., Geffroy M., Jung J., Westin R., Berg C. Cattle welfare aspects of production systems in the tropics. *Animal Production Science*. 2022; 62(13): 1203–1218.
https://doi.org/10.1071/AN21230

39. Dovlatov I.M., Komkov I.V., Bazaev S.O., Vladimirov F.E., Khakimov A.R. Effect of heat stress, determination of temperature-humidity index. *Agrarian science*. 2024; (10): 171–176 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176

ОБ АВТОРАХ

Евгений Олегович Крупин

доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных

evgeny.krupin@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8086-1788

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия, ул. Оренбургский тракт, 48, Казань, 420059, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Evgeny Olegovich Krupin

Doctor of Veterinary Sciences, Leading Researcher of the Department of Physiology, Biochemistry, Genetics and Animal Nutrition

evgeny.krupin@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8086-1788

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”,

48 Orenburg tract, Kazan, 420059, Russia



Подпишитесь на Telegram канал
ИД «Аграрная наука»



Еженедельно вы будете получать свежие новости АПК и сельского хозяйства, анонсы отраслевых событий, знакомиться 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

Adilbay T. Yesimbetov
Ruzimbay U. Turganbaev
Shodlik N. Madрахимов ✉
Khurshid A. Mamatov
Yusupbek F. Sultanov
Rustembay T. Aytjanov

*Nukus Branch of Samarkand State
 University of Veterinary Medicine,
 Animal Husbandry and Biotechnology,
 Nukus, Uzbekistan*

✉ shodlikmadrahimov1963@gmail.com

Received by the editorial office: 25.10.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Yesimbetov A.T., Turganbayev R.U.,
 Madрахимов Sh.N., Mamatov Kh.A.,
 Sultanov Yu.F., Aytjanov R.T.

А.Т. Есимбетов
Р.У. Турганбаев
Ш.Н. Мадрахимов ✉
Х.А. Маматов
Ю.Ф. Султанов
Р.Т. Айтжанов

*Нукусский филиал Самаркандского
 государственного университета
 ветеринарной медицины,
 животноводства и биотехнологий,
 Нукус, Узбекистан*

✉ shodlikmadrahimov1963@gmail.com

Поступила в редакцию: 25.10.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Есимбетов А.Т., Турганбаев Р.У.,
 Мадрахимов Ш.Н., Маматов Х.А.,
 Султанов Ю.Ф., Айтжанов Р.Т.

Comparative assessment of meat productivity of purebred and crossbred fat-tailed sheep in the Republic of Karakalpakstan

ABSTRACT

The article presents data on the live weight and meat productivity of first-generation (F_1) crossbred lambs obtained from crossing Jaidari breed ewes with Hissar breed lambs, which is a scientific basis for increasing the meat productivity of tailed sheep breeds in the natural and climatic conditions of the Republic of Karakalpakstan. It was found that at the age of 18 months, lambs of the second group (Hissar pure breed) and the third group (Hissar x Jaidari) of the first generation (F_1) outperformed their peers from the first group (Jaidari pure breed) in live weight, respectively, by 6.0 kg, or 9.2% ($p < 0.001$), and by 4.4 kg, or by 6.7% ($p < 0.01$). This indicates the high genetic potential of these animals in the formation of live weight and meat productivity, as well as their good adaptability to the environment and the high potential of breeding sheep, as well as the main absolute and relative indicators of slaughter results. Group II (pure Hissar breed) and Group III ($\frac{1}{2}$ Hissar x $\frac{1}{2}$ Jaidari) bred first-generation sheep (F_1) compared to their peers in Group I (Jaidari breed), respectively, by 15.6 kg, or by 33.5% ($p < 0.001$), and 5.6 kg, or by 12.0% ($p < 0.01$), uncooled carcass weight — by 9.4 kg, or by 47.7% ($p < 0.001$), and 5.2 kg, or by 26.4% ($p < 0.01$), slaughter weight — by 13.5 kg, or 59.5% ($p < 0.001$), and by 6.8 kg, or 29.9% ($p < 0.01$), slaughter yield of sheep — by 48.8%, 58.3% and 56.7%, respectively, which is 9.5% and 7.9% higher than that of their peers Group I (Jaidari). Thus, based on the scientific basis for increasing the meat productivity of tailed sheep breeds in the natural and climatic conditions of the Republic of Karakalpakstan, the first-generation (F_1) crossbred lambs obtained as a result of crossing purebred Hissar and Jaidari sheep with Hissar sheep showed high live weight and meat productivity indicators, which testifies to the high genetic potential of feeding them with complete and rationed feeds in pasture conditions.

Key words: breed, rams, sheep farming, sheep, pedigree, crossbreeding, rams, Jaidari, Gissar, crossbreed, meat productivity, live weight, slaughter yield

For citation: Yesimbetov A.T., Turganbayev R.U., Madрахимов Sh.N., Mamatov Kh.A., Sultanov Yu.F., Aytjanov R.T. Comparative assessment of meat productivity of purebred and crossbred sheep of fat-tailed breeds in the conditions of the Republic of Karakalpakstan. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 68–75 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-68-75>

Сравнительная оценка мясной продуктивности чистопородных и помесных овец курдючных пород в условиях Республики Каракалпакстан

РЕЗЮМЕ

В статье представлены данные о живой массе и мясной продуктивности первого поколения (F_1) помесных ягнят, полученных при скрещивании джайдарских овец с гиссарскими баранами, что является научной основой повышения мясной продуктивности курдючных пород овец в природно-климатических условиях Республики Каракалпакстан. Было установлено, что в 18-месячном возрасте ягнята второй группы (гиссарская чистая порода) и третьей группы (гиссарская x джайдарская) первого поколения (F_1) превосходили своих сверстников из первой группы (джайдарская чистая порода) по живой массе, соответственно, на 6,0 кг, или на 9,2% ($p < 0,001$), и на 4,4 кг, или на 6,7% ($p < 0,01$). Это свидетельствует о высоком генетическом потенциале этих животных в формировании живой массы и мясной продуктивности, а также их хорошей приспособляемости к внешней среде и высоком потенциале племенных баранов, а также об основных абсолютных и относительных показателях результатов убоя. II группа (чистая гиссарская порода) и III группа ($\frac{1}{2}$ гиссарская x $\frac{1}{2}$ джайдарская) скрестили баранов первого поколения (F_1) по сравнению со своими сверстниками в I группе (джайдарская порода), соответственно, на 15,6 кг, или на 33,5% ($p < 0,001$), и на 5,6 кг, или на 12,0% ($p < 0,01$), неохлажденная масса туши — на 9,4 кг, или на 47,7% ($p < 0,001$), и на 5,2 кг, или на 26,4% ($p < 0,01$), убойная масса — на 13,5 кг, или на 59,5% ($p < 0,001$), и на 6,8 кг, или на 29,9% ($p < 0,01$), убойный выход у баранов — на 48,8%, 58,3% и 56,7% соответственно, что на 9,5% и 7,9% выше, чем у сверстников I группы (джайдари). Таким образом, на основе научного обоснования повышения мясной продуктивности курдючных пород овец в природно-климатических условиях Республики Каракалпакстан полученные в результате скрещивания чистокровных гиссарских и джайдарских овец с гиссарскими овцами ягнята первого поколения (F_1) помес показали высокие показатели живой массы и мясной продуктивности, что свидетельствует о высоком генетическом потенциале их полноценными и нормированными кормами в условиях пастбищных условий.

Ключевые слова: порода, бараны, овцеводство, овцы, породность, скрещивание, баранчики, джайдари, гиссарская, помесь, мясная продуктивность, живая масса, убойный выход

Для цитирования: Есимбетов А.Т., Турганбаев Р.У., Мадрахимов Ш.Н., Маматов Х.А., Султанов Ю.Ф., Айтжанов Р.Т. Сравнительная оценка мясной продуктивности чистопородных и помесных овец курдючных пород в условиях Республики Каракалпакстан. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 68–75.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-68-75>

Introduction/Введение

Today, there are 1.2 billion sheep and goats in the world, from which meat, wool, leather, and other products are obtained. Sheep and goats, compared to other animals, not only possess resistance to environmental factors, but also adapt well to pasture climatic conditions [1–5] and produce a wide range of products [6–9].

Wool and wool-beef breeds are bred in Europe, Australia, and New Zealand. In the countries of Africa and Asia, sheep breeds are bred mainly for coarse wool and meat production. In the countries of Central Asia, fat-tailed sheep breeds occupy a special place, the main characteristics of which are the rapid accumulation of fat around the tail vertebrae under normal feeding conditions, a high degree of maturity, and the formation of excellent meat and fat productivity [10].

Most of them are indigenous and, along with a high level of meat and fat productivity, are semi-gentle (Degress), semi-coarse (Saradja, Tajik, Alay) and coarse-furred tail breeds (Hissar, Jaidari, Edilboy) and others. They are distinguished by the speed of their growth and development, the ability to effectively convert feed into products, and the possibility of economic use of young animals at an early age.

In the Republic of Karakalpakstan, the sheep breeding sector is developing in large natural fodder areas in desert areas where the possibility of using other animals is limited. The fat-tailed sheep bred in the region are distinguished by both their productivity and breed diversity, which allows for the efficient use of these breeds. At the same time, the development and implementation of effective methods for using fat-tailed sheep breeds to ensure food security, improve the standard of living of the population, and create new jobs is relevant.

Sheep breeding differs from other livestock sectors primarily in the variety of products produced (meat, wool, karakul and sheepskin, milk, and others), its high adaptability to pasture conditions, growth and development [4, 11, 12], early maturity, efficient and low feed consumption, and conversion into a product [13–20].

Analysis of the development of sheep farming shows that to increase its efficiency and competitiveness, it is necessary to fully utilize its entire genetic potential [21, 22].

Various natural-climatic and economic conditions, as well as ethnic and other characteristics, have contributed to the breeding of genetically based groups of over 1,200 breeds and sheep of various productivity orientations in various countries of the world, achieving high productivity.

The market economy mainly requires new requirements for the agro-industrial complex, namely, the production of high-quality [23–26], competitive, affordable agricultural products [27, 28], including in the sheep breeding sector, and the expansion of the range of raw materials and export goods [29–31]. Due to the growing global problem of providing

the population with food products and the growing shortage of food proteins, especially animal proteins, developing meat exports as an alternative to grain exports could become a significant challenge.

Analysis of the development of sheep breeding in the world shows that sheep breeding in developed countries specializes mainly in the production of mutton, which contributes to ensuring the economic efficiency and sustainable development of the industry.

For many years, objective conditions for the development of the sheep breeding industry have been formed in the Republic of Karakalpakstan. These are unique and favorable natural and climatic conditions, meeting the population's needs for meat, leather, and wool products, as well as the availability of significant pasture areas.

Due to the current economic situation in the Republic of Karakalpakstan, the number of sheep has decreased over the past quarter century. Rapid transition to an economy based on market principles, complete absence of demand for wool, sharp increase in equipment, energy carriers, and feed prices led to sheep breeding becoming the least economically protected sector in the region, which significantly impacted the sheep breeding sector, resulting in a decrease in sheep numbers [32–35].

As is known, the preservation of the gene pool of agricultural animals is the most important task, since the production of various types of livestock products, increasing their volume, depends on the effectiveness of breeding. In this direction, it is necessary to carry out work aimed at preserving all sheep breeds and maintaining them at a standard level, paying special attention to local breeds, which, due to their unique biological qualities, are adapted to the production of a wide range of products in harsh and difficult natural and climatic conditions [36–39].

In order to further increase the productivity of fat-tailed sheep breeds in sheep farming, it is necessary to develop new scientifically based effective breeding and technological methods by feeding and keeping fat-tailed sheep breeds on the basis of a complete ration.

In order to increase the meat productivity of sheep and further increase the volume of their meat production, it is necessary to carry out work on the selection of sheep with high meat qualities and the reproduction of their offspring through the effective use of the hereditary potential of sheep breeds with high meat productivity [40–43].

Based on this, taking into account the adaptive properties of fat-tailed sheep breeds, their year-round adaptation to pasture grazing, and their high maturity, creating opportunities for further increasing their meat and fat productivity through pure breeding of fat-tailed sheep and crossbreeding them with rams with high meat productivity and hereditary capabilities is considered the most important and urgent task.

Materials and methods /

Материалы и методы исследования

Scientific research was conducted from 2017 to 2024.

Three groups were formed, consisting of the existing Jaidari, Hissar, and their first-generation (F₁) hybrid offspring. Specifically: Group I comprised 36 Jaidari (control) animals, Group II included 32 Hissar animals, and Group III consisted of 29 lambs that were ½ Hissar × ½ Jaidari hybrids (experimental group) (Table 1).

The live weight of rams of different ages was measured at birth and at 4–4.5, 7, 12 and 18 months of age, individually on electronic scales before morning feeding; absolute growth was determined using the following formula:

$$A = W1 - W0,$$

Where: A — Absolute growth, kg; W0 — Initial live weight, kg; W1 — Final live weight, kg.

The average daily growth was determined by the following formula:

$$D = \frac{W1 - W0}{t1 - t0},$$

Where: K — Relative growth rate, %; W1 – W0 — Final and initial live weight, kg.

When studying the composition of fat-tailed sheep meat, samples were taken from the longest lumbar muscle of animals aged 4.5–5.0 months, 7 months kept under pasture conditions, and 7 months kept under pasture conditions with supplementary feeding.

The meat productivity of sheep was assessed according to the following indicators: live weight before slaughter, carcass weight, internal fat weight, slaughter weight, and slaughter yield. The meat productivity of the experimental sheep was determined by weighing and control slaughter (at 4.0–4.5 months, 7 months, and 18 months of age). Meat productivity of sheep at the ages of 4.0–4.5, 7, and 18 months was studied according to the requirements of GOST 31777-2012¹. All experiments on animals were carried out in compliance with the rules and ethical practices².

The obtained data underwent biometric reprocessing using the Microsoft Excel 2010 computer program, following the method of A.M. Yakovenko, T.I. Antonenko and M.I. Selionova (2013)³.

Results and discussion /

Результаты и обсуждение

Experience in developing meat-oriented sheep farming shows that increasing its economic efficiency and competitiveness requires fully utilizing the potential of its unique productivity characteristics. This is especially important due to the growing demand for meat products in the world market. In turn, this creates a foundation for the accelerated development of meat-oriented sheep farming and, at the same time, helps to some extent address the tasks aimed at meeting the population's need for high-quality and affordable food products.

Dumb sheep breeds are distinguished by high maturity and adaptability to pasture conditions, which contributes to the wide distribution of meat-producing sheep breeds. Most importantly, the high demand for affordable meat products among the population indicates their economic importance.

In the Republic of Karakalpakstan, the main part of sheep breeding is fat-tailed sheep, and fat-tailed sheep breeds belonging to the purebred sheep population are mainly developed in the region. To increase meat and fat production from them, utilizing the hereditary potential of meat-producing sheep breeds with a global gene pool (Hissar, Edilboy, and others) is considered one of the pressing issues [44–47].

To successfully implement these tasks to a certain extent, in our experimental work, we studied the live weight of ram lambs obtained from crossing Hissar rams with Jaidari ewes at various growth stages. The data collected from this study is presented in Table 2.

Analysis of the data in Table 1 shows that, despite the experimental lambs being fed and kept under the same conditions, a difference in the live weight of the lambs at birth was observed between the groups.

In particular, the live weight of the lambs in group II (pure Hissar breed) at birth was 4.60 kg, which is 0.8 kg or 21.1% higher than their counterparts in group I (pure Jaidari breed) and 0.4 kg or 9.5% higher than group III (½ Hissar × ½ Jaidari) first-generation

Table 1. Research description

Group	Species and breed				Slaughter age, months
	♀ Mother	♂ Father	n	♂+♀ Obtained offspring	
I	Jaidari	Jaidari	36	Jaidari	18
II	Hissar	Hissar	32	Hissar	18
III	Jaidari	Hissar	29	½ Hissar × ½ Jaidari	18

¹ ГОСТ 31777-2012 Овцы и козы для убоя. Баранина, ягнятина и козлятина в тушах. Технические условия.

GOST 31777-2012 Sheep and goats for slaughter. Lamb, mutton, and goat meat in carcasses. Specifications (in Russian).

² Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.

Directive of the European Parliament and of the Council on the protection of animals used for scientific purposes.

https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063jus.pdf

³ Яковенко А.М., Антоненко Т.И., Селионова М.И. Биометрические методы анализа качественных и количественных признаков в зоотехнии: учебное пособие. Ставрополь: Агрус. 2013; 91.

Yakovenko A.M., Antonenko T.I., Selionova M.I. Biometric methods for analyzing qualitative and quantitative traits in animal husbandry: a tutorial. Stavropol: Agrus. 2013; 91 (in Russian).

Table 2. Changes in live weight dynamics of experimental rams, kg ($\bar{X} \pm S\bar{X}$)

Growth period, oh	Group		
	I	II	III
	Genotypes		
	Jaidari (n = 36)	Hissar (n = 32)	½ Hissar × ½ Jaidari (n = 29)
When born	3,80 ± 0,19	4,60 ± 0,45	4,20 ± 0,32
1	12,5 ± 0,24	14,9 ± 0,76**	13,8 ± 0,53*
4,0–4,5	25,7 ± 0,87	33,6 ± 1,09**	30,2 ± 0,96*
7	37,9 ± 1,56	42,3 ± 1,21**	39,7 ± 1,78*
12	48,6 ± 1,56	52,5 ± 1,37**	50,2 ± 1,54*
18	65,5 ± 1,92	71,5 ± 1,01**	69,9 ± 1,76*

Note: * p < 0,01; ** p < 0,001.

(F₁) crossbred ram lambs, respectively. This indicates the high hereditary potential of the breeding rams.

Similar growth trends were observed in the subsequent 1, 4–4.5, 7, 12, and 18 months of the ram lambs' growth and development period. Group II (pure Hissar breed) ram lambs maintained their superiority over their peers in group I (pure Jaidari breed) and group III (½ Hissar × ½ Jaidari) first generation (F₁) crossbred ram lambs.

Specifically, during the first month of the growth period, group II (pure Hissar breed) and group III (½ Hissar × ½ Jaidari) first generation (F₁) crossbred ram lambs surpassed their group I (pure Jaidari breed) peers by 2.4 kg or 19.2% (p < 0.001) and 1.3 kg or 10.4% (p < 0.01) respectively. At 4–4.5 months of age, the difference was 7.9 kg or 30.7% (p < 0.001) and 4.5 kg or 17.5% (p < 0.01) respectively. At 7 months, it was 4.4 kg or 11.6% (p < 0.001) and 1.8 kg or 4.7% (p < 0.01), at 12 months 3.9 kg or 8.0% (p < 0.001) and 1.6 kg or 3.3% (p < 0.01), and at 18 months — 6.0 kg or 9.2% (p < 0.001) and 4.4 kg or 6.7% (p < 0.01) respectively.

To ensure food security for the population, especially in meeting the demand for livestock products, it is necessary to develop new breeding and technological methods for the effective use of meat-oriented sheep breeds. The main product of fat-tailed sheep is their meat productivity. Therefore, the production of mutton will satisfy the population's demand for food products to a certain extent.

Based on these considerations, our experimental work focused on studying the meat productivity of first-generation (F₁) crossbred ram lambs obtained from crossing Hissar and Jaidari breeds under the natural climatic conditions of the Republic of Karakalpakstan.

The slaughter results of Hissar, Jaidari, and their first-generation (F₁) crossbred ram lambs at 18 months of age are presented in Table 3.

Analysis of the data in Table 3 reveals that the live weight of 18-month-old rams before slaughter in group II (pure Hissar breed) and group III (½ Hissar × ½ Jaidari) first-generation (F₁) crossbred rams was higher compared to their counterparts in group I (pure Jaidari breed) by 15.6 kg or 33.5% (p < 0.001) and 5.6 kg or 12.0% (p < 0.01) respectively.

Table 3. Slaughter results of experimental rams at 18 months of age ($\bar{X} \pm S\bar{X}$)

Indicators	Group (n = 3)		
	I	II	III
	Genotypes		
	Jaidari	Hissar	½ Hissar × ½ Jaidari
Live weight before slaughter, kg	46,5 ± 0,45	62,1 ± 0,32***	52,1 ± 0,12**
Warm carcass weight	19,7 ± 0,13	29,1 ± 0,41***	24,9 ± 0,65**
Warm carcass yield, %	42,4	46,9	43,6
Rump weight	2,54 ± 0,09	6,25 ± 0,39***	4,10 ± 0,38***
Rump yield, %	5,4	10,1	7,9
Internal fat weight, kg	0,48 ± 0,05	0,84 ± 0,07	0,52 ± 0,04
Internal fat yield, %	1,0	1,4	1,0
Slaughter weight, kg	22,7 ± 0,32	36,2 ± 0,13***	29,5 ± 0,15**
Slaughter yield, %	48,8	58,3	56,7
Rump to slaughter weight ratio, %	11,2	17,3	13,9

Note: * p < 0,01; ** p < 0,001.

The weight of the warm carcass was higher by 9.4 kg or 47.7% (p < 0.001) and 5.2 kg or 26.4% (p < 0.01) respectively, while the slaughter weight was higher by 13.5 kg or 59.5% (p < 0.001) and 6.8 kg or 29.9% (p < 0.01) respectively. The slaughter yield of the rams was 48.8%, 58.3%, and 56.7% for groups I, II, and III respectively, with groups II and III being 9.5% and 7.9% higher than their counterparts in group I (pure Jaidari).

Additionally, in group II (pure Hissar breed) and group III (½ Hissar × ½ Jaidari) first-generation (F₁) hybrid ram lambs, the tail fat weight was 6.25 and 4.10 kg, respectively, which was 3.71 kg or 146.1% (p < 0.001) and 1.56 kg or 61.4% (p < 0.001) higher than their counterparts in group I (pure Jaidari breed). The ratio of tail fat to live weight before slaughter and to carcass weight was 5.4% and 11.2% respectively in group I (pure Jaidari breed) ram lambs, 10.1% and 17.3% in group II (pure Hissar breed), and 7.9% and 13.9% in group III (½ Hissar × ½ Jaidari) first-generation (F₁) hybrid ram lambs. It was determined that these ratios were 4.7 and 6.1 percentage points higher in group II, and 2.5 and 2.7 percentage points higher in group III, respectively, compared to their counterparts in group I (pure Jaidari breed).

Conclusions/Выводы

In the natural and climatic conditions of the Republic of Karakalpakstan, effective utilization of the genetic potential of fat-tailed sheep breeds through crossbreeding local ewes with Hissar breed rams has shown that the resulting first-generation (F₁) crossbred lambs exhibit high live weight during various growth and development stages. This demonstrates not only their strong genetic potential and adaptability to the external environment but also the high prepotency of the rams in transmitting desirable traits for meat productivity from generation to generation. Furthermore, it indicates the significant

role of both hereditary potential and environmental adaptability in shaping the meat productivity of these crossbred lambs.

The meat productivity of local Jaidari and Hissar breed ram lambs, as well as the first-generation (F_1) crossbred ram lambs obtained from their crossing, demonstrated high results in terms of warm carcass weight, slaughter weight, and dressing percentage.

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 work on the effectiveness of tailed sheep was carried out according to the research plan of the Nukus branch of the Samarkand State University of Veterinary Medicine, Animal Husbandry and Biotechnology.

REFERENCES

1. Greguła-Kania M., Nazar P., Kulik M., Patkowski K., Hahaj-Siembida A., Junkuszew A. Some Physiological Responses of Native Sheep Breeds to Environmental Conditions during Grazing in Natura 2000. *Agriculture*. 2023; 13(5): 982. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050982>
2. Yuldashbaev Yu.A. et al. The effect of young ram's genotype on mineral metabolism. *Sheep, goats, and wool business*. 2024; (1): 15–18 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-1-15-18>
3. Nikonova E.A. et al. The effectiveness of growing purebred and crossbred sheep. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2023; (4): 164–170 (in Russian). https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_24
4. Kosilov V.I., Nikonova E.A., Rebezov M.B., Akhmedov D.M. Influence of gender and physiological state young sheep of the kazakh short-tailed rough-haired sheep breeds for the development of the musculoskeletal system in postnatal period of ontogenesis. *Status and prospects for improving the genetic and productive characteristics of fat-tailed sheep. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Dushanbe: Matbaa. 2021; 218–223 (in Russian). <https://elibrary.ru/rmetko>
5. Kosilov V.I. et al. The effect of the genotype of young sheep on the nitrogen balance. *Agrarian science*. 2025; (4): 81–87 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-81-87>
6. Martyshkin A.A., Belykh K.S. Production of sheep products in England. *Nauka i obrazovaniye*. 2023; 6(2) (in Russian). <https://elibrary.ru/ctmqou>
7. Vershinin A.S. Market organization and product processing are the most important factors in the development of sheep farming. *Current state, breeding and technological solutions in the development of sheep and goat farming. Proceedings of the scientific and practical conference held within the framework of the All-Russian exhibition of breeding sheep and goats*. Chita. 2024; 21–26 (in Russian). <https://elibrary.ru/yrvlen>
8. Nikonova E.A. et al. Growth intensity of rams of the Romanov breed and its crossbreeds with the Edilbaev breed of different generations. *Gylm jäne bilim*. 2022; (4–3): 3–10 (in Russian). <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-4-3-3-10>
9. Gerasimova T.G., Rebezov M.B., Lukin E.V. Wool productivity of sheep of different genotypes. *Actual problems of intensive development of animal husbandry. Collection of papers based on the materials of the national scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of the Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher professional education of the Russian Federation, honorary citizen of the Bryansk region, Doctor of Biology, Professor E.P. Vashchekin*. Bryansk. 2022; 1: 300–303 (in Russian). <https://elibrary.ru/fkpdfx>
10. Abdurasulov A.Kh., Kalandarov M.A., Rebezov M.B., Kosilov V.I. Live weight and body features of Ala-Too sheep. *Agrarian science*. 2025; (10): 71–80 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-71-80>
11. Kosilov V.I., Nikonova E.A., Rakhimzhanova I.A., Kubatbekov T.S., Rebezov M.B., Bykova O.A. Features of the physique of purebred and crossbred young sheep. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; (5): 267–273 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-115-5-267-273>

This indicates that it is intrinsically linked to their full-value nutrition in pasture conditions and their genetic potential.

Thus, the use of the method of crossbreeding fat-tailed sheep breeds for meat production: Jaidari, Hissar, and Jaidari ewes with Hissar rams — has proven to be an economically efficient approach.

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

Исследовательская работа на тему эффективности курдючных овец выполнена по плану научных исследований Нукусского филиала Самаркандского государственного университета ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Greguła-Kania M., Nazar P., Kulik M., Patkowski K., Hahaj-Siembida A., Junkuszew A. Some Physiological Responses of Native Sheep Breeds to Environmental Conditions during Grazing in Natura 2000. *Agriculture*. 2023; 13(5): 982. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050982>
2. Юлдашбаев Ю.А. и др. Влияние генотипа баранчиков на минеральный обмен. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2024; (1): 15–18. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-1-15-18>
3. Никонова Е.А. и др. Эффективность выращивания чистопородных и помесных баранчиков. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2023; (4): 164–170. https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_24
4. Косилов В.И., Никонова Е.А., Ребезов М.Б., Ахмедов Д.М. Влияние пола и физиологического состояния молодняка овец казахской курдючной грубошерстной породы на развитие опорно-двигательного аппарата в постнатальный период онтогенеза. *Состояние и перспективы совершенствования генетических и продуктивных особенностей овец курдючных пород. Материалы Международной научно-практической конференции*. Душанбе: Матбаа. 2021; 218–223. <https://elibrary.ru/rmetko>
5. Косилов В.И. и др. Влияние генотипа молодняка овец на баланс азота. *Аграрная наука*. 2025; (4): 81–87. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-81-87>
6. Мартышкин А.А., Бельх К.С. Производство продукции овцеводства в Англии. *Наука и образование*. 2023; 6(2). <https://elibrary.ru/ctmqou>
7. Вершинин А.С. Организация рынка и переработка продукции — важнейшие факторы развития овцеводства. *Современное состояние, селекционные и технологические решения в развитии овцеводства и козоводства. Материалы научно-практической конференции, проводимой в рамках Всероссийской выставки племенных овец и коз*. Чита. 2024; 21–26. <https://elibrary.ru/yrvlen>
8. Никонова Е.А. и др. Интенсивность роста баранчиков романовской породы и ее помесей с эдильбаевской разных поколений. *Ғылым және білім*. 2022; (4–3): 3–10. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-4-3-3-10>
9. Герасимова Т.Г., Ребезов М.Б., Лукин Е.В. Шерстная продуктивность овец разного генотипа. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Сборник трудов по материалам национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти заслуженного работника Высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, почетного гражданина Брянской области д-ра биол. наук, профессора Е.П. Ващекина*. Брянск. 2022; 1: 300–303. <https://elibrary.ru/fkpdfx>
10. Абдурасулов А.Х., Каландаров М.А., Ребезов М.Б., Косилов В.И. Живая масса и особенности телосложения овец породы ала-тоо. *Аграрная наука*. 2025; (10): 71–80. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-71-80>
11. Косилов В.И., Никонова Е.А., Ракимжанова И.А., Кубатбеков Т.С., Ребезов М.Б., Быкова О.А. Особенности телосложения чистопородного и помесного молодняка овец. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; (5): 267–273. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-115-5-267-273>

12. Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Nikonova E.A., Rahimzhanova I.A., Sedych T.A., Rebezov M.B. Influence of genotype and castration of rams on consumption and use of feed ration nutrients energy. *Bulletin of KrasGAU*. 2024; (9): 135–141 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-9-135-141>
13. Zhilyakova G.M., Lagkonova M.D. Shear yield and wool properties of Buryat-type ewe lambs of the Transbaikalian breed obtained at different lambing times. *Sheep, goats, wool business*. 2015; (4): 43–44 (in Russian). <https://elibrary.ru/vqehal>
14. Zabelina M.V., Amiyana A.A. The relationship of meat productivity with the size of the kurdjuk in sheep of the Edilbaev breed, depending on the milk productivity of their mothers. *Modern methods of improving the productive qualities of farm animals. Collection of articles of the International scientific and practical conference*. Saratov: Vavilov University. 2023; 25–29 (in Russian). <https://elibrary.ru/kbilrr>
15. Yuldashbaev Yu.A., Karynbayev A.K., Kozhamuradov N. Effective technologies for mutton production in karakul sheep breeding. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*. 2009; (2): 156–159 (in Russian). <https://elibrary.ru/oostsf>
16. Davletova A.M., Smagulov D.B., Traisov B.B., Tulebaev B., Kubatbekov T.S. Productive qualities of fat tail sheep reared in the West Kazakhstan region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (2): 267–270 (in Russian). <https://elibrary.ru/qqwgom>
17. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. On the age of sheep at slaughter. *Sheep, goats, wool business*. 2016; (3): 40–43 (in Russian). <https://elibrary.ru/wqscsr>
18. Zateev D.V. Hematological parameters and natural resistance of Caucasian rams from different climatic zones. *Sheep, goats, wool business*. 2017; (2): 43–45 (in Russian). <https://elibrary.ru/yrrldh>
19. Yuldashbaev Yu.A., Kosilov V.I., Traisov B.B., Davletova A.M., Kubatbekov T.S. Economical and biological peculiarities of Edilbaev sheep. *Herald of beef cattle breeding*. 2015; (4): 50–57 (in Russian). <https://elibrary.ru/vhjbjh>
20. Turganbaev R., Sultanov Yu. Hematological parameters of young fat-tailed sheep in the conditions of Karakalpakstan. *Agro ILM*. 2022; (1): 54–56 (in Russian).
21. Morel P.C.H., Wickham J.L., Morel J.P., Wickham G.A. Effects of birth rank and yearling lambing on long-term ewe reproductive performance. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 2010; 70: 88–90.
22. Pain S.J., Loureiro M.F.P., Kenyon P.R., Blair H.T. The effect of dam age on ewe offspring productive performance and efficiency. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 2015; 75: 239–242.
23. Rebezov M. *et al.* Improving meat quality and safety: innovative strategies. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2024; 18: 523–546. <https://doi.org/10.5219/1972>
24. Sarkar T. *et al.* A Review on the Commonly Used Methods for Analysis of Physical Properties of Food Materials. *Applied Sciences*. 2022; 12(4): 2004. <https://doi.org/10.3390/app12042004>
25. Okuskhonova E. *et al.* Study of morphology, chemical, and amino acid composition of red deer meat. *Veterinary World*. 2017; 10(6): 623–629. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.623-629>
26. Kosilov V.I., Nikonova E.A., Yuldashbaev Yu.A., Kubatbekov T.S., Gazeev I.R., Rebezov M.B. Commodity value of carcass cuts of young sheep of the South Ural breed of different sex and age. *Sheep, goats, wool business*. 2021; (3): 32–34 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2021-3-32-34>
27. Zaytseva T.N., Rebezov M.B., Ryabova V.F. Prospects for the development of the regional market for poultry products. *Actual problems of modern science, technology and education. Abstracts of the 82nd International scientific and technical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2024; 2: 362 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xfnmat>
28. Smolnikova F.Kh., Amirkhanov K.Zh., Asenova B.K., Rebezov M.B., Okuskhonova E.K. Main directions in the integrated processing of poultry meat. *Innovative trends, scientific advances, and factors for sustainable development of food systems. 24th International scientific and practical conference dedicated to the memory of V.M. Gorbatov (Gorbatov Readings)*. Moscow: Gorbatov Research Center for Food Systems. 2024; 164–168 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ppppiss>
12. Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Седых Т.А., Ребезов М.Б. Влияние генотипа и кастрации баранчиков на потребление и использование энергии питательных веществ кормов рациона. *Вестник КрасГАУ*. 2024; (9): 135–141. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-9-135-141>
13. Жилиякова Г.М., Лаконова М.Д. Настриг и свойства шерсти ярок бурятского типа забайкальской породы, полученных в разные сроки ягнения. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2015; (4): 43–44. <https://elibrary.ru/vqehal>
14. Забелина М.В., Амиян А.А. Связь мясной продуктивности с величиной курдюка у баранчиков эдильбаевской породы в зависимости от молочной продуктивности их матерей. *Современные способы повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных. Сборник статей Международной научно-практической конференции*. Саратов: Вавиловский университет. 2023; 25–29. <https://elibrary.ru/kbilrr>
15. Юлдашбаев Ю.А., Карынбаев А.К., Кожамурадов Н. Эффективные технологии производства баранины в каракулеводстве. *Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства*. 2009; (2): 156–159. <https://elibrary.ru/oostsf>
16. Давлетова А.М., Смагулов Д.Б., Траисов Б.Б., Тулебаев Б., Кубатбеков Т.С. Продуктивные качества курдючных овец Западно-Казахстанской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (2): 267–270. <https://elibrary.ru/qqwgom>
17. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. О возрасте овец при убое. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2016; (3): 40–43. <https://elibrary.ru/wqscsr>
18. Затеев Д.В. Гематологические показатели и естественная резистентность баранчиков кавказской породы разных климатических зон. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2017; (2): 43–45. <https://elibrary.ru/yrrldh>
19. Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Траисов Б.Б., Давлетова А.М., Кубатбеков Т.С. Хозяйственно-биологические особенности овец эдильбаевской породы. *Вестник мясного скотоводства*. 2015; (4): 50–57. <https://elibrary.ru/vhjbjh>
20. Турганбаев Р., Султанов Ю. Гематологические показатели молодняка курдючных овец в условиях Каракалпакии. *Agro ILM*. 2022; (1): 54–56.
21. Morel P.C.H., Wickham J.L., Morel J.P., Wickham G.A. Effects of birth rank and yearling lambing on long-term ewe reproductive performance. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 2010; 70: 88–90.
22. Pain S.J., Loureiro M.F.P., Kenyon P.R., Blair H.T. The effect of dam age on ewe offspring productive performance and efficiency. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 2015; 75: 239–242.
23. Rebezov M. *et al.* Improving meat quality and safety: innovative strategies. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2024; 18: 523–546. <https://doi.org/10.5219/1972>
24. Sarkar T. *et al.* A Review on the Commonly Used Methods for Analysis of Physical Properties of Food Materials. *Applied Sciences*. 2022; 12(4): 2004. <https://doi.org/10.3390/app12042004>
25. Okuskhonova E. *et al.* Study of morphology, chemical, and amino acid composition of red deer meat. *Veterinary World*. 2017; 10(6): 623–629. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.623-629>
26. Косилов В.И., Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Кубатбеков Т.С., Газеев И.Р., Ребезов М.Б. Товарная ценность отрубов туши молодняка овец южноуральской породы разного пола и возраста. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2021; (3): 32–34. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2021-3-32-34>
27. Зайцева Т.Н., Ребезов М.Б., Рябова В.Ф. Перспективы развития регионального рынка продуктами птицеводства. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 82-й Международной научно-технической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2024; 2: 362. <https://www.elibrary.ru/xfnmat>
28. Смольникова Ф.Х., Амирханов К.Ж., Асенова Б.К., Ребезов М.Б., Окусханова Э.К. Основные направления в комплексной переработке мяса птицы. *Инновационные тренды, научные достижения и факторы устойчивого развития пищевых систем. XXIV Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти В.М. Горбатова (Горбатовские чтения)*. М.: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН. 2024; 164–168. <https://www.elibrary.ru/ppppiss>

29. Slozhenkina M.I., Gorlov I.F., Mosolova N.I., Anisimova E.Yu., Knyazeva S.A., Reshetnikova A.O. Economic and biological features of a new "Povolzhsky" type of the Edilbay sheep breed. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2700(1): 050038. <https://doi.org/10.1063/5.0124963>
30. Kirgiasini D., Kirgiasini M.-A., Gournaris T., Mamuris Z. Understanding Circular RNAs in Health, Welfare, and Productive Traits of Cattle, Goats, and Sheep. *Animals*. 2024; 14(5): 733. <https://doi.org/10.3390/ani14050733>
31. Li M. *et al.* Pan-Omics in Sheep: Unveiling Genetic Landscapes. *Animals*. 2024; 14(2): 273. <https://doi.org/10.3390/ani14020273>
32. Singh P.P., Tomar S.S., Thakur M.S., Kumar A. Polymorphism and association of growth hormone gene with growth traits in Sirohi and Barbari breeds of goat. *Veterinary World*. 2015; 8(3): 382–387. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.382-387>
33. Presnyakova T.A., Khainatsky V.Yu. The use of modern technologies for the genetic examination of the origin of meat animals. *New approaches to the development of animal husbandry based on the use of regional breed resources. All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Elista: Kalmyk State University. 2025; 154–163 (in Russian). <https://elibrary.ru/klieok>
34. Greguła-Kania M., Gruszecki T.M., Junkuszew A., Juszcuk-Kubiak E., Florek M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep. *Meat Science*. 2019; 154: 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.007>
35. Plemyashov K.V., Belikova A.O. Innovative molecular genetic technologies in animal husbandry. *Contemporary topics of reproductive health of animals. Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of Vyatka State Agrotechnological University and the 95th anniversary of the birth of the Honored Scientist of the Russian Federation, Dr. Veterinary Sciences, Professor A.I. Varganova*. Syktykhar: Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2025; 317–322 (in Russian). <https://elibrary.ru/gjtnqc>
36. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. Intensification of production and improvement of sheep meat quality. Moscow: *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2015; 303 (in Russian). ISBN 978-5-9904440-9-6 <https://elibrary.ru/tkfjcc>
37. Yusupov S. Constitutional differentiation and productivity of Karakul sheep. Monograph. Tashkent. 2005; 239 (in Russian).
38. Shaptakov E.S. Ways to increase mutton production in Karakul breeding. Samarkand. 2020; 197 (in Russian).
39. Agnazarov D., Ruziboev N. Results of crossing Uzbek fine-wool ewes with Dagestan fine-wool rams. *BIO Web of Conferences*. 2025; 173: 02020. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202517302020>
40. Khamiruev T.N., Goncharenko G.M., Khoroshilova T.S. Association of polymorphism of genes *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* with economically useful traits of sheep breeds of the Trans-Baikal Territory. *Actual problems of agriculture and development prospects. Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 60th anniversary of the Eastern Siberia Veterinary Research Institute – branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences and the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences*. Chita. 2024; 137–144 (in Russian). <https://elibrary.ru/rmgwjq>
41. Orozbaev B., Turdubaev T., Bekturov A., Altybay Uulu B., Chortonbaev T. Lifetime estimation of meat qualities in selection of sheep curds. *BIO Web of Conferences*. 2024; 130: 07001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413007001>
42. Basitov K.T., Prmanshaev M., Chortonbaev T.D., Bekturov A. Heritability of breeding traits in meat breeds of sheep of different origin in the South-East of Kazakhstan. *BIO Web of Conferences*. 2024; 83: 01004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248301004>
43. Gorlov I.F. *et al.* Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. *Small Ruminant Research*. 2017; 150: 11–14. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.02.019>
44. Madrakhimov S., Roziboev N. Growth and development of F₁ hybrid progenies of Schwitz cows using beef breeds. *E3S Web of Conferences*. 2023; 371: 01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101003>
45. Madraximov Sh.N. The effect of feeding on the expression of the hereditary opportunities of monbelyard bulis belonging to different genotypes. *European multidisciplinary journal of modern science*. 2023; 22: 1–6.
29. Slozhenkina M.I., Gorlov I.F., Mosolova N.I., Anisimova E.Yu., Knyazeva S.A., Reshetnikova A.O. Economic and biological features of a new "Povolzhsky" type of the Edilbay sheep breed. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2700(1): 050038. <https://doi.org/10.1063/5.0124963>
30. Kirgiasini D., Kirgiasini M.-A., Gournaris T., Mamuris Z. Understanding Circular RNAs in Health, Welfare, and Productive Traits of Cattle, Goats, and Sheep. *Animals*. 2024; 14(5): 733. <https://doi.org/10.3390/ani14050733>
31. Li M. *et al.* Pan-Omics in Sheep: Unveiling Genetic Landscapes. *Animals*. 2024; 14(2): 273. <https://doi.org/10.3390/ani14020273>
32. Singh P.P., Tomar S.S., Thakur M.S., Kumar A. Polymorphism and association of growth hormone gene with growth traits in Sirohi and Barbari breeds of goat. *Veterinary World*. 2015; 8(3): 382–387. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.382-387>
33. Преснякова Т.А., Хайнацкий В.Ю. Использование современных технологий для генетической экспертизы происхождения животных мясных пород. *Новые подходы в развитии животноводства на основе использования региональных породных ресурсов. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием*. Элиста: Калмыцкий государственный университет. 2025; 154–163. <https://elibrary.ru/klieok>
34. Greguła-Kania M., Gruszecki T.M., Junkuszew A., Juszcuk-Kubiak E., Florek M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep. *Meat Science*. 2019; 154: 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.007>
35. Племяшов К.В., Беликова А.О. Инновационные молекулярно-генетические технологии в животноводстве. *Актуальные проблемы репродуктивного здоровья животных. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Вятского государственного агротехнологического университета и 95-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки Российской Федерации д-ра ветеринар. наук, профессора А.И. Варганова*. Сыктывкар: Коми научный центр Уральского отделения РАН. 2025; 317–322. <https://elibrary.ru/gjtnqc>
36. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Интенсификация производства и повышение качества мяса овец. М.: *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2015; 303. ISBN 978-5-9904440-9-6 <https://elibrary.ru/tkfjcc>
37. Юсупов С. Конституциональная дифференциация и продуктивность каракульских овец. Монография. Ташкент. 2005; 239.
38. Шаптаков Э.С. Пути повышения производства баранины в каракулеводстве. Самарканд. 2020; 197.
39. Agnazarov D., Ruziboev N. Results of crossing Uzbek fine-wool ewes with Dagestan fine-wool rams. *BIO Web of Conferences*. 2025; 173: 02020. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202517302020>
40. Хамируев Т.Н., Гончаренко Г.М., Хорошилова Т.С. Ассоциация полиморфизма генов *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* с хозяйственно полезными признаками пород овец Забайкальского края. *Актуальные проблемы сельского хозяйства и перспективы развития. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 60-летию Научно-исследовательского института ветеринарии Восточной Сибири – филиала СФНЦА РАН и 300-летию РАН*. Чита. 2024; 137–144. <https://elibrary.ru/rmgwjq>
41. Orozbaev B., Turdubaev T., Bekturov A., Altybay Uulu B., Chortonbaev T. Lifetime estimation of meat qualities in selection of sheep curds. *BIO Web of Conferences*. 2024; 130: 07001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413007001>
42. Basitov K.T., Prmanshaev M., Chortonbaev T.D., Bekturov A. Heritability of breeding traits in meat breeds of sheep of different origin in the South-East of Kazakhstan. *BIO Web of Conferences*. 2024; 83: 01004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248301004>
43. Gorlov I.F. *et al.* Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. *Small Ruminant Research*. 2017; 150: 11–14. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.02.019>
44. Madrakhimov S., Roziboev N. Growth and development of F₁ hybrid progenies of Schwitz cows using beef breeds. *E3S Web of Conferences*. 2023; 371: 01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101003>
45. Madraximov Sh.N. The effect of feeding on the expression of the hereditary opportunities of monbelyard bulis belonging to different genotypes. *European multidisciplinary journal of modern science*. 2023; 22: 1–6.

46. Madrakhimov Sh.N., Abdurasulov A.Kh. Growth and development of Simmental sters and its crosses with Aberdeen Angus, Limousin and Sharolais ponies. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2024; (3): 122–131 (in Russian).

[https://doi.org/10.52754/16948696_2024_3\(8\)_15](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_3(8)_15)

47. Kholbekova M., Amirov S., Madrakhimov S. Technological characteristics of milk from Estonian red breed cows. *E3S Web of Conferences*. 2024; 563: 03048.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456303048>

ABOUT THE AUTHORS

Adilbay Tlepovich Yesimbetov

Doctor of Biological Sciences, Professor
adilbay.esimbetov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6958-1873>

Ruzimbay Urazbaevich Turganbaev

Doctor of Agricultural Sciences, Professor
turganbaev19643@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0172-1849>

Shodlik Nazarovich Madrakhimov

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
shodlikmadrakhimov1963@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-9233-0748>

Khurshid Abdirafiyevich Mamatov

Candidate of Agricultural Sciences
mamatovxurshid22@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-4044-5534>

Yusupbek Fayzullaevich Sultanov

Candidate of Agricultural Sciences
Yusupbeksultanov@gmail.com

Rustembay Turganbayevich Aitjanov

Doctoral Student
rustembayaitjanov1989@mail.ru

Nukus branch of Samarkand State University
of Veterinary Medicine, Animal Husbandry
and Biotechnologies,
31 A. Utegov Str., Nukus, Republic
of Karakalpakstan, Uzbekistan

46. Мадрахимов Ш.Н., Абдурасулов А.Х. Рост и развитие бычков симментальской породы и ее помесей с абердин-ангусской, лимузинской и шаролеизской. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; (3): 122–131.

[https://doi.org/10.52754/16948696_2024_3\(8\)_15](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_3(8)_15)

47. Kholbekova M., Amirov S., Madrakhimov S. Technological characteristics of milk from Estonian red breed cows. *E3S Web of Conferences*. 2024; 563: 03048.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456303048>

ОБ АВТОРАХ

Адилбай Тлепович Есимбетов

доктор биологических наук, профессор
adilbay.esimbetov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6958-1873>

Рузимбай Уразбаевич Турганбаев

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
turganbaev19643@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0172-1849>

Шодлик Назарович Мадрахимов

доктор сельскохозяйственных наук, доцент
shodlikmadrakhimov1963@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-9233-0748>

Хуршид Абдирафиевич Маматов

кандидат сельскохозяйственных наук
mamatovxurshid22@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-4044-5534>

Юсупбек Файзуллаевич Султанов

кандидат сельскохозяйственных наук
Yusupbeksultanov@gmail.com

Рустембай Турганбаевич Айтжанов

докторант
rustembayaitjanov1989@mail.ru

Нукусский филиал Самаркандского государственного университета ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологий,
ул. им. А. Утепова, 31, Нукус, Республика Каракалпакстан, Узбекистан

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



О.В. Шальнев¹А.С. Горелик²О.В. Горелик¹ ✉М.Б. Ребезов^{1, 3}С.Ю. Харлап¹Т.А. Иргашев⁴¹Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия²Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия³Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия⁴Институт животноводства и пастбищ Таджикской академии сельскохозяйственных наук, Душанбе, Таджикистан✉ olgao205en@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

©Шальнев О.В., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Иргашев Т.А.

Research article

Oleg V. Shalnev¹Artyom S. Gorelik²Olga V. Gorelik¹ ✉Maksim B. Rebezov^{1, 3}Svetlana Yu. Kharlap¹Tolibzhon A. Irgashev⁴¹Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia²Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia³Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia⁴Institute of Animal Husbandry and Pastures of the Tajik Academy of Agricultural Sciences, Dushanbe, Tajikistan✉ olgao205en@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.09.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Shalnev O.V., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Irgashev T.A.

Сопряженность возраста первого осеменения телок с продуктивностью коров в зависимости от возраста в лактациях

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Увеличение всё возрастающей потребности в ремонте стада приводит к снижению возраста первого осеменения. При этом не проводится анализ влияния возраста первого осеменения на продуктивные качества коров и длительность их продуктивного использования.

Цель работы — проанализировать сопряженность возраста первого осеменения телок на их дальнейшую продуктивность в зависимости от возраста коров.

Методы. В исследовании приняли участие ремонтные телки и коровы, родившиеся в 2018 году, которые были разделены на 6 групп в зависимости от их ОВП: ≤ 12 месяцев (включая подгруппы с ранним осеменением в 9, 11 и 12 месяцев) и 13, 14, 15, 16 и 17–18 месяцев. Материалом и данными для сравнения служили база ИАС «СЕЛЭКС-Молочный скот», результаты собственных исследований. Изучены структура в зависимости от возраста первого осеменения, динамика удоя за 4 лактации, установлен средний и пожизненный удой. Молочную продуктивность коров контролировали по контрольным дойкам.

Результаты. Установлено, что наибольшее количество ремонтных телок осеменены в 14 месяцев (с незначительными колебаниями от 13 до 15 месяцев). Самая высокая продолжительность продуктивного периода оказалась по группе коров с возрастом первого осеменения 14 месяцев (3,72 лактации), а самая короткая — 17–18 месяцев (3,0 лактации). Наиболее высокие показатели продуктивности в среднем за период продуктивного использования коров установлены у животных, которые были осеменены в возрасте 16 месяцев — $10844 \pm 138,79$ кг.

Исследование показало, что возраст первого осеменения влияет на показатели лактации с возрастом коров. Коровы, осемененные в возрасте 13–15 месяцев, были наиболее эффективными с точки зрения надоев молока за лактацию, что способствовало повышению их продуктивности в течение всей жизни.

Ключевые слова: ремонтные телки, коровы, возраст первого осеменения, лактации, динамика, продуктивность, удой

Для цитирования: Шальнев О.В., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Иргашев Т.А. Сопряженность возраста первого осеменения телок с продуктивностью коров в зависимости от возраста в лактациях. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 76–84.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-76-84>

The correlation of the age of the first insemination of heifers with the productivity of cows depending on the age in lactation

ABSTRACT

Relevance. The increasing need for herd maintenance leads to a decrease in the age of first insemination. At the same time, the influence of the age of the first insemination on the productive qualities of cows and the duration of their productive use is not analyzed.

The aim of the work is to analyze the correlation of the age of the first insemination of heifers on their further productivity, depending on the age of cows.

Methods. The study involved replacement heifers and cows born in 2018, which were categorized into six groups based on their AFI: ≤ 12 months (including subgroups with early insemination at 9, 11, and 12 months), and 13, 14, 15, 16, and 17–18 months. Data for the analysis were sourced from the IAC “SELEX-Dairy Cattle” database and complemented by our own research. We examined the distribution of heifers by AFI, milk yield dynamics over four lactations, and calculated both the average milk yield per lactation and lifetime milk yield. Dairy productivity was assessed through controlled milk recordings.

Results. It was found that the largest number of repair heifers were inseminated at 14 months (with slight fluctuations from 13 to 15 months). The highest duration of the productive period was found in the group of cows with the age of the first insemination of 14 months (3.72 lactation), and the shortest — 17–18 months (3.0 lactation). The highest productivity rates on average over the period of productive use of cows were found in animals that were inseminated at the age of 16 months — $10,844 \pm 138.79$ kg.

The study revealed that the age at first insemination influences the pattern of lactation performance as cows age. Cows inseminated at 13–15 months of age were the most efficient in terms of milk yield per lactation, which contributed to their higher lifetime productivity.

Key words: repair heifers, cows, age of first insemination, lactation, dynamics, productivity, milk yield

For citation: 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; 401 (12): 76–84 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-76-84>

Введение/Introduction

В настоящий период развития сельского хозяйства в целом и животноводства в частности особое внимание уделяется молочному скотоводству как отрасли, поставляющей на рынок продуктов молоко и говядину. Это объясняется необходимостью полного обеспечения населения страны полноценными продуктами питания собственного производства для удовлетворения потребности [1–5].

Основное количество молока (более 97%) получают от крупного рогатого скота молочного и комбинированного направления продуктивности. Большее количество маточного поголовья скота молочного направления продуктивности принадлежит самой обильномолочной породе в мире — голштинской [6–8].

В Российской Федерации голштинская порода получила распространение как за счет закупок чистопородных животных, так и путем широкомасштабного и длительного поглотительного скрещивания массива отечественного молочного скота быками-производителями голштинской породы различной генерации. Начиная с конца 70-х годов прошлого столетия голштинские быки использовались для совершенствования хозяйственно полезных признаков. В результате получены животные с высоким генетическим потенциалом продуктивности, хорошо приспособленные к использованию в условиях промышленного производства молока [9–14].

Так, в Свердловской области в качестве улучшаемой выступала черно-пестрая порода уральского отродья. На маточном поголовье использовались быки голштинской породы из Дании, Германии, Канады и США. Современный молочный скот Среднего Урала относится к голштинской породе, и это крупные животные с высокими удоями и достаточно высокими показателями массовой доли жира и белка (МДЖ и МДБ) в молоке, хорошо приспособленные для машинного доения [15–20].

Наряду с положительными результатами длительной голштинизации и дальнейшим разведением животных голштинской породы были выявлены проблемы, связанные прежде всего с воспроизводством и снижением продуктивного использования. Эти проблемы поставили новые задачи перед работниками молочного скотоводства, в том числе по вопросам технологии выращивания ремонтного молодняка.

Многие сельскохозяйственные предприятия разработали и используют интенсивные технологии выращивания ремонтного молодняка и при-

меняют раннее осеменение телок. Увеличение всё возрастающей потребности в ремонте стада приводит к снижению возраста первого осеменения [21–25]. При этом не проводится анализ влияния возраста первого осеменения на продуктивные качества коров и длительность их продуктивного использования.

Цель работы — проанализировать сопряженность возраста первого осеменения телок на их дальнейшую продуктивность в зависимости от возраста коров.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в условиях типичного для Свердловской области племенного репродуктора по разведению крупного рогатого скота голштинской породы, расположенного в Пышминском районе указанной выше области (Российская Федерация).

Объектом исследования служили ремонтные телки и коровы 2018 г. р.

Исследования проведены в 2024–2025 гг.

Животные были распределены по 6 группам (до 12 и в 12 месяцев, в которую вошли телки со сверхранними осеменениями — в 9, 11 и 12 месяцев; 13, 14, 15, 16 и 17–18 месяцев). В исследованиях были использованы данные 196 животных по 19–42 головы в группе.

Условия содержания, основной рацион, режим и фронт кормления и поения, параметры микроклимата для всех групп были одинаковыми и соответствовали зоогигиеническим нормам¹.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года № 2010/63/ЕС о защите животных, используемых для научных целей², и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ³.

Материалом и данными для сравнения служили база ИАС «СЕЛЭКС-Молочный скот»⁴ (Россия) и результаты собственных исследований.

Изучены структура в зависимости от возраста первого осеменения, динамика удоя за 4 лактации, установлен средний и пожизненный удой.

Молочную продуктивность коров контролировали по контрольным дойкам.

Использовали зоотехнические, математические, статистические методы исследований и анализа.

Обработку материала проводили с использованием ПК методом вариационной статистики с критериями достоверности Стьюдента, с использованием пакета программ Microsoft Excel (США).

¹ Морозова Н.И. Молочная продуктивность голштинских коров при круглогодичном стойловом содержании: учебное пособие. Рязань. 2013; 169.

eLIBRARY ID: 18927230, EDN: PYEUPV

² Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

³ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

⁴ <https://plinor.ru/selexdairy cattle>

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 1 представлена структура поголовья в зависимости от возраста первого осеменения.

В результате распределения животных на группы в зависимости от возраста первого осеменения установлено, что наибольшее количество ремонтных тёлочек были осеменены в 14 месяцев (с незначительными колебаниями от 13 до 15 месяцев). Имелись тёлочки, осеменённые в возрасте до 12 и в 12 месяцев, в 16-месячном возрасте первого осеменения и старше. Таких животных оказалось от 13,5% (1-я лактация) до 7,9% (4-я лактация). К 4-й лактации выбытие составило 36% коров, в том числе с возрастом первого осеменения по группам: 20%, 35,3%, 26,9%, 50,0%, 63,5% и 100,0%, соответственно.

Считается, что первым показателем при оценке готовности ремонтных тёлочек к осеменению является живая масса. Результаты по средней живой массе тёлочек в группах представлены на рисунке 2.

С возрастом первого осеменения наблюдалось увеличение живой массы ремонтных тёлочек. Живая масса тёлочек при первом осеменении в 9-месячном возрасте оказалась 245 кг, то есть можно говорить, что достижение половой зрелости тёлочек позволяет провести плодотворное осеменение и получить живой приплод.

Данные сроки осеменения при низкой живой массе тёлочек были проведены для подтверждения рекомендаций по сверххранним срокам осеменения и уточнения влияния сверххранного осеменения на продуктивные качества коров. Удой по лактациям у этих животных изменялся от 8550 кг (1-я лактация) до 9515 кг (4-я лактация). Причем после 1-й лактации наблюдалось снижение удоя по 2-й и 3-й лактациям, что, с точки зрения авторов, объясняется восстановлением молодого организма после интенсивного использования в период 1-й лактации.

Расчет среднесуточных удоев в динамике по лактациям подтверждает данный вывод (рис. 3).

Наиболее высокие среднесуточные удои были установлены по 4-й лактации, когда животные достигли взрослого состояния и длительность их жизни составила 5,87 года. При этом необходимо отметить, что длительность каждой лактации пре-

Рис. 1. Структура поголовья в зависимости от возраста первого осеменения по лактациям

Fig. 1. Livestock structure depending on the age of the first insemination by lactation

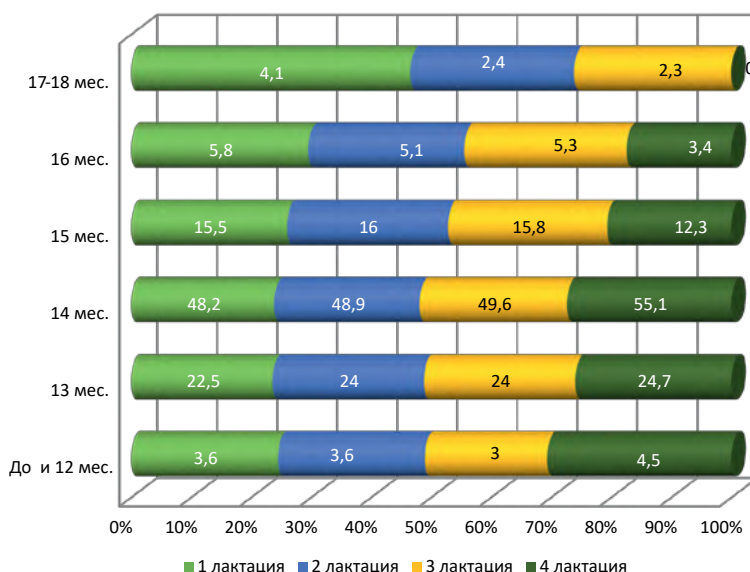


Рис. 2. Живая масса ремонтных тёлочек при первом осеменении, кг

Fig. 2. Live weight of repair heifers at the first insemination, kg

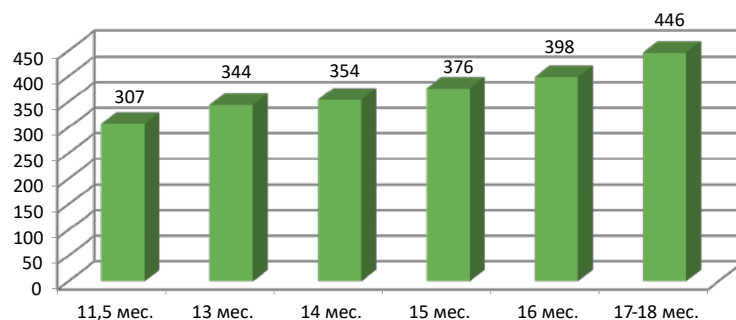
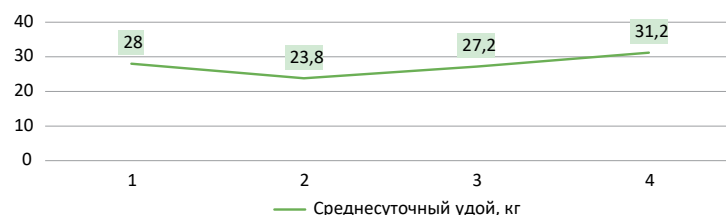


Рис. 3. Динамика среднесуточных удоев коров с возрастом первого осеменения 9 месяцев по лактациям (1-я, 2-я, 3-я, 4-я) при длительности 305 дней, кг

Fig. 3. Dynamics of average daily milk yields of cows with the age of the first insemination of 9 months by lactation (1st, 2nd, 3rd, 4th) with a duration of 305 days, kg



вышла 305 дней: на 52 (3-я лактация) — 199 дней (1-я лактация).

Было установлено, что на среднесуточные удои как на 1-й день лактации, так и на 1 кг живой массы при первом осеменении оказывает влияние возраст первого осеменения (рис. 4).

Данные (рис. 4) не позволяют выявить группу животных с оптимальными сроками первого осеменения, поскольку все первотёлочки показали по 1-й лактации высокие показатели среднесуточных удоев. Еще выше они были при расчете на каждый

1 кг живой массы при первом осеменении.

Установлено, что лучшими они были у первотёлок, осеменённых в возрасте 9 месяцев, на втором месте животные с возрастом первого осеменения 16 и более месяцев. Однако количество животных с такими сроками осеменения недостаточно, для того чтобы рекомендовать данные сроки для применения в сельскохозяйственных организациях. При этом наиболее показательным является удой на 1-й день 1-й лактации. По этим данным, самые высокие показатели оказались в группах первотёлок с возрастом первого осеменения 18 месяцев, им несколько уступают коровы, осеменённые в возрасте 17 месяцев, следующими были осеменённые в 15 и 13 месяцев. У всех оказалась меньшая длительность продуктивного использования (рис. 5).

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод о большей длительности продуктивного периода у коров, осеменённых в более раннем возрасте — ранее 12 месяцев и 13–14 месяцев. Самая высокая продолжительность продуктивного периода оказалась по группе коров с возрастом первого осеменения 14 месяцев (3,72 лактации), а самая короткая — 17–18 месяцев (3,0 лактации).

Следует отметить, что наблюдалось снижение длительности продуктивного долголетия с увеличением возраста первого осеменения после 14 месяцев. На рисунке 6 представлены данные о среднем удое у коров в зависимости от возраста первого осеменения по выделенным группам.

Из данных (рис. 6) видно, что наиболее высокие показатели продуктивности в среднем за период продуктивного использования коров установлены у животных, которые были осеменены в возрасте 16 месяцев — $10844 \pm 138,79$ кг. Несколько им уступают животные с возрастом первого осеменения в 14 и 15 месяцев, а именно на 797 кг и 613 кг, или на 7,3% и 5,7%, что ниже относительно группы с возрастом первого осеменения 16 месяцев ($p \leq 0,05$). В сравнении с другими группами разница достоверна при $p \leq 0,01$, а именно при возрасте первого осеменения до 12 месяцев, в 12, 13 и 17–18 месяцев.

Установлены и изменения удоёв в связи с возрастом животных по лактациям (рис. 7). У коров с возрастом первого осеменения 9 месяцев он повышался по 4-й лактации, но в среднем по группе до 12 и в 12

Рис. 4. Среднесуточные удои первотёлок в зависимости от возраста первого осеменения, кг

Fig. 4. Average daily milk yields of first heifers depending on the age of the first insemination, kg

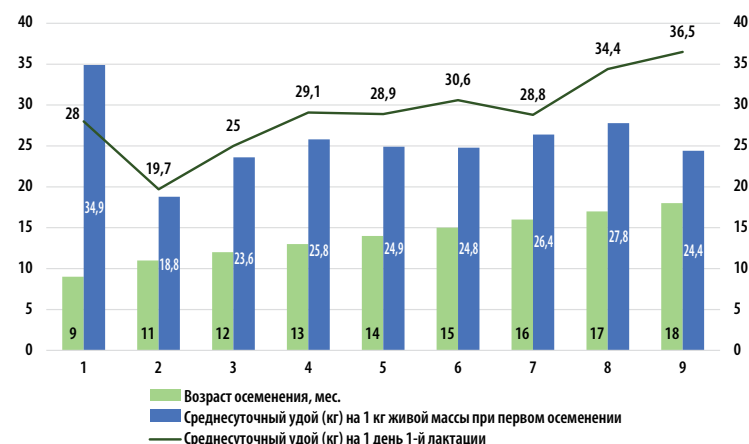


Рис. 5. Продолжительность продуктивного использования коров, лактаций

Fig. 5. The duration of productive use of cows and lactation

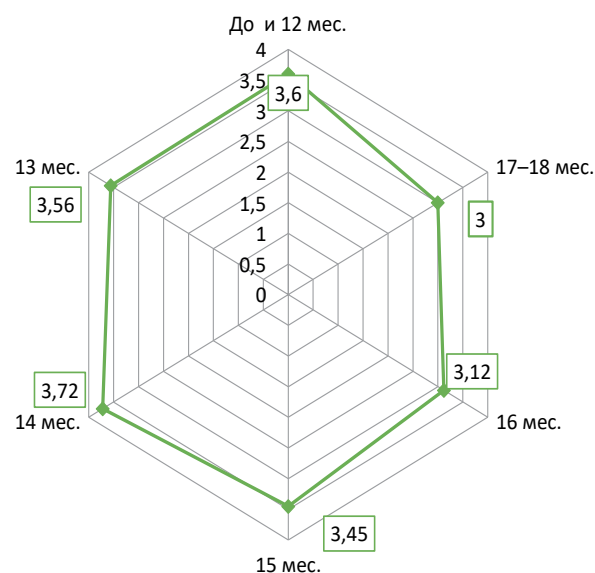
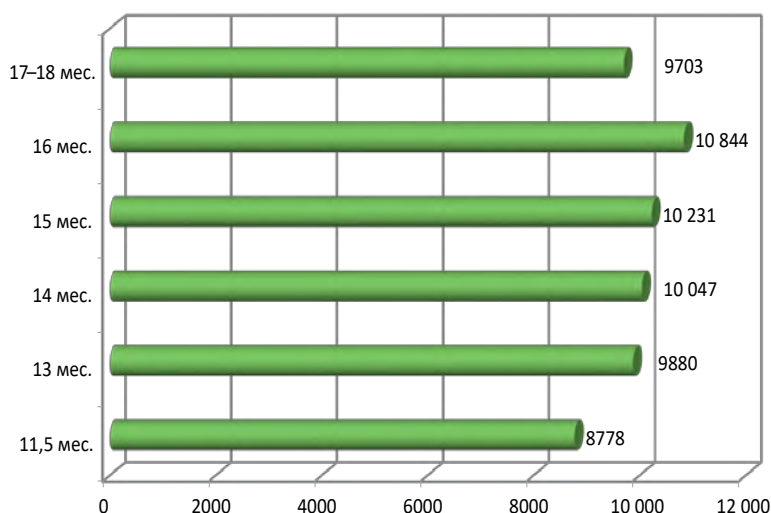


Рис. 6. Средние показатели продуктивности коров за период продуктивного использования, кг

Fig. 6. Average cow productivity over the period of productive use, kg



месяцев — по 3-й ($9827 \pm 150,38$ кг). У коров, осемененных в 11 месяцев, он был выше по 3-й лактации ($10023 \pm 38,67$ кг) (рис. 7).

На рисунке 7 наглядно видны закономерные изменения удоев по лактациям в группах коров в зависимости от срока первого осеменения. У коров первой группы (до 12 и в 12 месяцев) возрастание удоя с 1-й до 3-й лактации и снижение по 4-й. У коров, осемененных в 13 и 14 месяцев, самый высокий удой получен во 2-ю лактацию и далее с незначительным снижением в 3-ю и 4-ю. У животных, осемененных в 15-месячном возрасте, наблюдали максимальное повышение удоя во 2-ю лактацию, снижение по 3-й и незначительное повышение по 4-й лактации относительно предыдущей.

Животные с возрастом первого осеменения 16 месяцев имели высокие показатели продуктивности уже по 1-й лактации ($10499 \pm 87,50$ кг), по 2-й наблюдали небольшое его понижение на 176 кг, или на 1,7%, дальнейшее повышение по 3-й лактации до достижения максимальных показателей по 4-й лактации — $12417 \pm 212,37$ кг.

Это были самые высокие показатели — как по группам, так и по лактациям. У коров с возрастом первого осеменения 17–18 месяцев самый высокий показатель по удою был по 1-й лактации, далее он снижался с возрастом до минимального по 3-й лактации.

Таким образом, от возраста первого осеменения коров наблюдали изменение особенностей лактационной деятельности с возрастом коров. Наиболее эффективными с точки зрения удоя за лактацию оказались коровы, осемененные в возрасте 16 месяцев.

Оценка эффективности использования маточного поголовья молочного скота показывает, что окупаемость их наступает не ранее чем по половозрастной лактации, поэтому интересен вопрос о пожизненной продуктивности коров с разными сроками первого осеменения (рис. 8).

Самый высокий пожизненный удой зафиксирован в группе коров с возрастом первого осеменения 14 месяцев. От них получены в среднем на одно животное, окончившее 4 лактации, 37 375 кг молока, что больше, чем в других группах, на 2078 кг, или на 5,6% (первое осеменение в 15 месяцев) — на 8266 кг, или на 22,1% (первое осеменение в 17–18 месяцев).

На рисунке 9 представлены данные о среднесуточных удоях, полученных от коров с разным

Рис. 7. Динамика удоя коров в зависимости от возраста первого осеменения, кг

Fig. 7. Cow yield dynamics depending on the age of the first insemination, kg

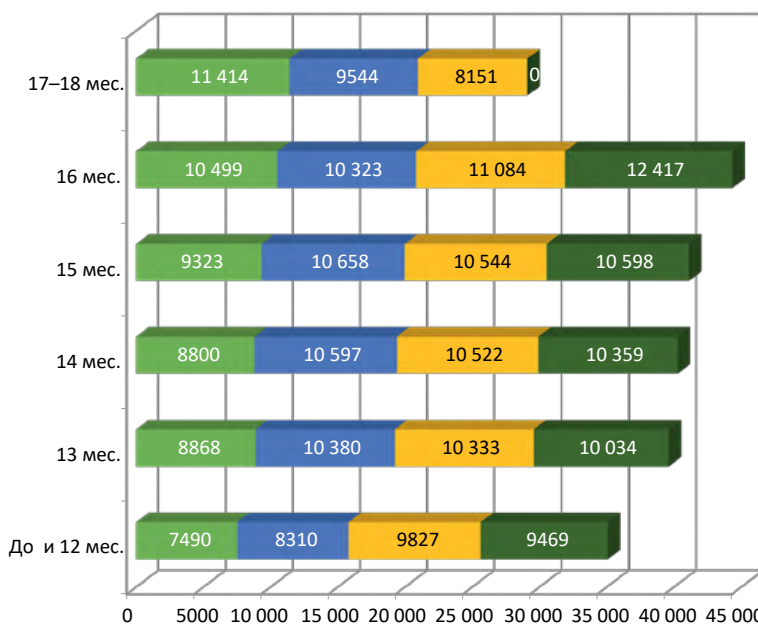
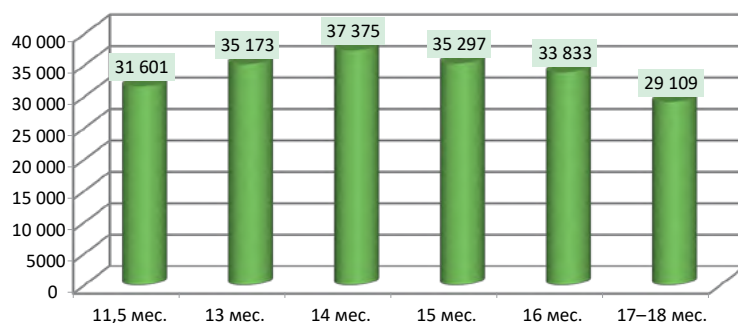


Рис. 8. Пожизненная продуктивность коров разных сроков осеменения, кг

Fig. 8. Lifetime productivity of cows of different periods of insemination, kg



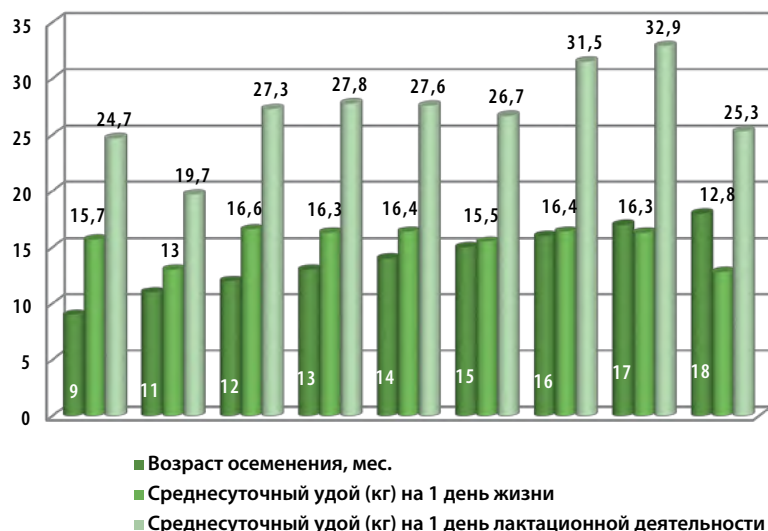
сроком первого осеменения на один день жизни и один день лактационной деятельности.

На рисунке 9 наглядно видно, что осеменение ремонтных тёлочек при достижении ими необходимой живой массы в возрасте 12, 13, 14, 15 месяцев привело к получению от них примерно одинаковых показателей по среднесуточным удоям по периоду лактационной деятельности и продолжительности жизни. Несколько из этого периода выпадает возрастной аспект 9 и 18 месяцев (коровы из этой группы несколько уступали животным из других групп по среднесуточным удоям).

Самые высокие показатели по среднесуточным удоям на один день продуктивного использования (лактации) оказались у коров с возрастом первого осеменения 17 месяцев, однако следует отметить, что длительность их использования имеет самые низкие показатели. На втором месте по этому показателю оказались коровы с возрастом первого осеменения 16 месяцев, срок продуктивного использования которых был тоже небольшим — 3,12 лактации.

Рис. 9. Среднесуточные удои коров на день жизни и лактационной деятельности в зависимости от возраста первого осеменения, кг

Fig. 9. Average daily milk yields of cows per day of life and lactation activity depending on the age of the first insemination, kg



Таким образом, можно выделить коров с оптимальными показателями возраста первого осеменения с учетом продолжительности использования и высоким удоем. В данном случае ими оказались животные с первым осеменением в возрасте 13–16 месяцев с живой массой 344–400 кг.

В.Ф. Гридин, С.Л. Гридина, Н.Б. Ильгильдинов, Н.М. Костомахин, О.И. Лешонок, Т.Л. Лещук, Г.П. Лещук, Н.А. Лушников, О.В. Назарченко,

Н.А. Позднякова, Г.Е. Усков, А.В. Цопанова [26–30] и др. получили подобные данные и опубликовали в своих исследованиях.

Выводы/Conclusions

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что в хозяйстве используется интенсивная технология выращивания ремонтного молодняка, позволяющая в возрасте 12–13 месяцев и старше получать ремонтных тёлочек с необходимой массой для проведения первого осеменения.

Возраст первого осеменения оказывает влияние на показатели молочной продуктивности, в частности на удои и продолжительность продуктивного использования, а также особенности лактационной деятельности коров в зависимости

от их возраста. Оптимальными показателями возраста первого осеменения с учетом продолжительности использования и продуктивных качеств оказались животные с первым осеменением в возрасте 13–16 месяцев с живой массой 344–400 кг, от которых были получены за период продуктивного использования от 33 833 кг (16 месяцев) до 37 375 кг (14 месяцев) и длительности продуктивного использования от 3,12 лактации (16 месяцев) до 3,72 лактации (14 месяцев).

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 (№ государственной регистрации АААА-А19-1191014000069).

FUNDING

The research is exploratory and was carried out within the framework of scientific research at the Ural State Agrarian University (state registration No. ААААА-А19-1191014000069).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Владимиров Н.А. Развитие молочного скотоводства в регионах Российской Федерации: экономико-статистическое исследование. *Вопросы статистики*. 2023; 30(2): 87–97. <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2023-30-2-87-97>
2. Строев В.В., Магомедов М.Д., Алексеичева Е.Ю. Повышение производства и потребления молочных продуктов в России и продовольственная безопасность. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2023; 13(6А): 368–380. <https://elibrary.ru/fkhuwk>
3. Гриценко С.А., Костомахин Н.М. Динамика показателей выращивания ремонтных тёлочек в условиях животноводческого предприятия. *Главный зоотехник*. 2023; (11): 3–9. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2311-01>
4. Донник И.М., Мымрин С.В. Роль генетических факторов в повышении продуктивности крупного рогатого скота. *Главный зоотехник*. 2016; (8): 20–32. <https://elibrary.ru/wgwpqd>
5. Лореттс О.Г., Донник И.М. Повышение биоресурсного потенциала крупного рогатого скота и качества молочной продукции при промышленных технологиях содержания. *Аграрный вестник Урала*. 2014; (10): 51–55. <https://elibrary.ru/ramxtg>

REFERENCES

1. Vladimirov N.A. Development of Dairy Cattle Breeding in the Regions of the Russian Federation: Economic and Statistical Study. *Voprosy statistiki*. 2023; 30 (2): 87–97 (in Russian). <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2023-30-2-87-97>
2. Stroeve V.V., Magomedov M.D., Alekseicheva 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://elibrary.ru/fkhuwk>
3. 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>
4. Donnik I.M., Mymrin S.V. Role of genetic factors in increasing of the productivity of cattle. *Head of Animal Breeding*. 2016; (8): 20–32 (in Russian). <https://elibrary.ru/wgwpqd>
5. Loretts O.G., Donnik I.M. Bioresource increase capacity of cattle and quality of milk products in industrial technology content. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (10): 51–55 (in Russian). <https://elibrary.ru/ramxtg>

6. Китаев Ю.А. Современное состояние молочного скотоводства в России. *Техника и технологии в животноводстве*. 2020; (4): 101–104. <https://elibrary.ru/zjcqeb>
7. Фирсова Э.В., Карташова А.П. Голштинская порода скота в Российской Федерации: современное состояние и перспективы развития. *Генетика и разведение животных*. 2019; (1): 62–69. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-1-62-69>
8. Сермягин А.А., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Костюнина О.В., Зиновьева Н.А. Оценка геномной вариативности продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS анализа и ROH паттернов. *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(2): 257–274. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257rus>
9. Чеченихина О.С., Смирнова Е.С. Биологические и продуктивные особенности коров черно-пестрой породы при различных технологиях доения. *Молочно-хозяйственный вестник*. 2020; (1): 90–102. <https://elibrary.ru/ueogyv>
10. 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. <https://elibrary.ru/mlvbyl>
11. Сафронов С.Л., Костомахин Н.М., Соловьёва О.И., Остроухова В.И., Кульмакова Н.И. Молочная продуктивность и долголетие коров в условиях промышленной технологии производства молока. *Селекционные и технологические аспекты интенсификации производства продуктов животноводства. По материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения академика М.Ф. Иванова*. М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2022; 1: 223–227. <https://elibrary.ru/drqjgh>
12. Скобелев В.В., Чижевский С.И., Серяков И.С., Цикунова О.Г. Молочная продуктивность коров-первотелок в зависимости от генеалогической структуры в ОАО «Валище» Пинского района. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2017; (4): 32–37. <https://elibrary.ru/ymneik>
13. 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. <https://elibrary.ru/ymneau>
14. Чеченихина О.С., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Степанов А.В. Возраст выбытия коров из стада в зависимости от генетических и паратипических факторов. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (6): 71–79. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
15. 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>
16. Лоретц О.Г., Горелик О.В., Гафнер В.Д. Влияние происхождения на молочную продуктивность коров. *Аграрный вестник Урала*. 2016; (4): 45–50. <https://elibrary.ru/vwuugz>
17. Gorelik O.V., Lihodeevskaya O.E., Zezin N.N., Sevostyanov M.Ya., Leshonok O.I. Assessment of the effect of inbreeding on the productive longevity of dairy cattle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548: 082009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082009>
18. Gorelik O.V., Lihodeevskaya O.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>
19. Gridina S.L., Gridin V.F., Leshonok O.I. Characterization of High-Producing Cows by their Immunogenetic Status. *AgroSMART — Smart solutions for agriculture (AgroSMART 2018). International scientific and practical conference*. Atlantis Press. 2018; 253–256. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.49>
20. 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>
6. Kitaev Yu.A. Current state of Russian dairy cattle breeding. *Machinery and technologies in livestock*. 2020; (4): 101–104 (in Russian). <https://elibrary.ru/zjcqeb>
7. Firsova E.V., Kartashova A.P. Holstein breed of the cattle in the Russian Federation, the current state and the prospects of development. *Genetics and breeding of animals*. 2019; (1): 62–69 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-1-62-69>
8. Sermyagin A.A., Bykova O.A., Loretts O.G., Kostyunina O.V., Zinovieva N.A. Genomic variability assess for breeding traits in holsteinized Russian Black-and-White cattle using GWAS analysis and ROH patterns. *Agricultural Biology*. 2020; 55(2): 257–274. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257eng>
9. Chechenikhina O.S., Smirnova E.S. Biological and productive features of black-motley cows with various milking techniques. *Molochno-khozyaistvenny Vestnik*. 2020; (1): 90–102 (in Russian). <https://elibrary.ru/ueogyv>
10. 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. *Zootekniya*. 2020; (2): 5–8 (in Russian). <https://elibrary.ru/mlvbyl>
11. Safronov S.L., Kostomakhin N.M., Solovyova O.I., Ostroukhova V.I., Kulmakova N.I. Milk productivity and longevity of cows under industrial milk production technologies. *Selective and technological aspects of intensification of livestock production. On the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician M.F. Ivanov*. Moscow: Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy. 2022; 1: 223–227 (in Russian). <https://elibrary.ru/drqjgh>
12. Skobelev V.V., Chizhevsky S.I., Seryakov I.S., Tsikunova O.G. Milk productivity of first-calf cows depending on the genealogical structure in JSC “Valishche” of the Pinsk district. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017; (4): 32–37 (in Russian). <https://elibrary.ru/ymneik>
13. Pavlova T.V., Novik S.N. Duration of living in the herds and milk productivity of cows of different genotypes in SPK “Lyakhovichsky”. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017; (2): 31–37 (in Russian). <https://elibrary.ru/ymneau>
14. Chechenikhina O.S., Bykova O.A., Loretts O.G., Stepanov A.V. The age of retirement of cows from the herd, depending on genetic and paratypical factors. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (6): 71–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
15. 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>
16. Loretts O.G., Gorelik O.V., Gafner V.D. Influence of origin on milk yield of cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016; (4): 45–50 (in Russian). <https://elibrary.ru/vwuugz>
17. Gorelik O.V., Lihodeevskaya O.E., Zezin N.N., Sevostyanov M.Ya., Leshonok O.I. Assessment of the effect of inbreeding on the productive longevity of dairy cattle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548: 082009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082009>
18. Gorelik O.V., Lihodeevskaya O.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>
19. Gridina S.L., Gridin V.F., Leshonok O.I. Characterization of High-Producing Cows by their Immunogenetic Status. *AgroSMART — Smart solutions for agriculture (AgroSMART 2018). International scientific and practical conference*. Atlantis Press. 2018; 253–256. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.49>
20. 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>

21. Попов Н.А., Симонов Г.А., Шичкин Г.И., Хализова З.Н. Оценка быков-производителей в системе разведения племенного стада. *Эффективное животноводство*. 2021; (5): 87–90. <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2021-5-87-90>
22. Лещук Т.Л., Лещук А.Г., Достовалов Е.В., Киселева Н.И. Влияние сроков плодотворного осеменения телок на их продуктивные и воспроизводительные качества. *Главный зоотехник*. 2014; (9): 25–30. <https://elibrary.ru/smjhej>
23. Вильвер Д.С. Влияние возраста первого осеменения телок на морфофункциональные свойства вымени коров. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017; (1): 137–139. <https://elibrary.ru/yfnhrn>
24. Сударев Н.П., Абылкасымов Д., Абрампальская О.В., Чаргеишвили С.В. Влияние возраста первого плодотворного осеменения телок разной селекции на их последующие хозяйственно полезные признаки. *Сельскохозяйственный журнал*. 2018; (3): 50–56. <https://elibrary.ru/hmedqn>
25. Лукичев Д.Л., Лукичев В.Л. Влияние эффективного выращивания на параметры воспроизводства ремонтных телок. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; (8): 136–141. <https://elibrary.ru/ysqaxj>
26. Лещук Г.П. Продуктивные качества молочного стада в связи с разным уровнем выбраковки первотелок. *Главный зоотехник*. 2012; (8): 7–9. <https://elibrary.ru/pdqqyp>
27. Лещук Т.Л., Цопанова А.В. Эффективность осеменения коров в связи с уровнем молочной продуктивности. *Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции в условиях международных санкций. Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Курган: Курганский государственный университет. 2023; 43–46. <https://elibrary.ru/pvwhce>
28. Гридин В.Ф., Гридина С.Л., Лешонко О.И., Костомакхин Н.М., Позднякова Н.А., Лушников Н.А. Направленное выращивание телок в регионе Урала — гарантия высокой молочной продуктивности коров. *Главный зоотехник*. 2023; (4): 3–11. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2304-01>
29. Лушников Н.А., Ильгильдинов Н.Б. Воспроизводительная способность коров черно-пестрой породы в связи с сезоном отёла. *Современные проблемы животноводства в условиях инновационного развития отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Лесниково: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. 2017; 112–114. <https://elibrary.ru/ykzqez>
30. Цопанова А.В., Назарченко О.В., Усков Г.Е. Воспроизводительные качества высокопродуктивных коров ЗАО «Глинка». Приоритетные направления регионального развития. *Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия. 2022; 419–423. <https://elibrary.ru/ccdiot>
21. Popov N.A., Simonov G.A., Shichkin G.I., Khalizova Z.N. Evaluation of stud bulls in the breeding system of the breeding herd. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2021; (5): 87–90 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2021-5-87-90>
22. Leshchuk T.L., Leshchuk A.G., Dostovalov E.V., Kiseleva N.I. The influence of the terms of fertile insemination of heifers in their productive and reproductive traits. *Head of Animal Breeding*. 2014; (9): 25–30 (in Russian). <https://elibrary.ru/smjhej>
23. Vilver D.S. The influence of the age of heifers' first insemination on morphofunctional properties of cows' udder. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017; (1): 137–139 (in Russian). <https://elibrary.ru/yfnhrn>
24. Sudarev N.P., Abylkasymov D., Abrampalskaya O.V., Chargeishvili S.V. Influence of the age of the first fruitful insemination in heifers of different selection on their subsequent economically useful traits. *Agricultural journal*. 2018; (3): 50–56 (in Russian). <https://elibrary.ru/hmedqn>
25. Lukichev D.L., Lukichev V.L. The effective influence of cultivation on the parameters of reproduction of heifers. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2018; (8): 136–141 (in Russian). <https://elibrary.ru/ysqaxj>
26. Leshchuk G.P. Productive qualities of the dairy herd in connection with different levels of culling of first-calf heifers. *Head of Animal Breeding*. 2012; (8): 7–9 (in Russian). <https://elibrary.ru/pdqqyp>
27. Leshchuk T.L., Tsopanova A.V. The effectiveness of insemination of cows in connection with the level of milk productivity. *Innovative technologies for the production and processing of agricultural products under international sanctions. Collection of articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference*. Kurgan: Kurgan State University. 2023; 43–46 (in Russian). <https://elibrary.ru/pvwhce>
28. Gridin V.F., Gridina S.L., Leshonok O.I., Kostomakhin N.M., Pozdnyakova N.A., Lushnikov N.A. Correct rearing of heifers in the ural region is a guarantee of high milk productivity of cows. *Head of Animal Breeding*. 2023; (4): 3–11 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2304-01>
29. Lushnikov N.A., Ilgildinov N.B. Reproductive capacity of black and mushroom cows in connection with the season of the hotel. *Modern problems of animal husbandry in the context of innovative development of the industry. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Lesnikovo: Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev. 2017; 112–114 (in Russian). <https://elibrary.ru/ykzqez>
30. Tsopanova A.V., Nazarchenko O.V., Uskov G.E. Reproductive qualities high-strength cows CJSC "Glinka". *Priority areas of regional development. Collection of articles based on the materials of the III All-Russian (national) scientific and practical conference*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy. 2022; 419–423 (in Russian). <https://elibrary.ru/ccdiot>

ОБ АВТОРАХ

Олег Владимирович Шальнев¹

аспирант

shalnev-oleg@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0005-5482-3269>

Артём Сергеевич Горелик²

кандидат биологических наук

temae077ex@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

Ольга Васильевна Горелик¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов

olgao205en@ya.ru

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

ABOUT THE AUTHORS

Oleg Vladimirovich Shalnev¹

Graduate Student

shalnev-oleg@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0005-5482-3269>

Artyom Sergeevich Gorelik²

Candidate of Biological Sciences

temae077ex@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

Olga Vasilyevna Gorelik¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products

olgao205en@ya.ru

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

Максим Борисович Ребезов^{1, 3}

• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов¹;

• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник³

rebezov@ya.ru

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

Светлана Юрьевна Харлап¹

кандидат биологических наук, доцент

proffuniver@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

Талибжон Абиджанович Иргашев⁴

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

irgashevt@mail.ru

¹Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

²Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, ул. Мира, 22, Екатеринбург, 620062, Россия

³Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

⁴Институт животноводства и пастбищ Таджикской академии сельскохозяйственных наук, ул. Гипрозем, 17, Душанбе, 734001, Таджикистан

Maksim Borisovich Rebezov^{1, 3}

• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products¹;

• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher³

rebezov@ya.ru

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

Svetlana Yurievna Kharlap¹

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

proffuniver@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

Tolibzhon Abidjanovich Irgashev⁴

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

irgashevt@mail.ru

¹Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia

²Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, 22 Mira Str., Yekaterinburg, 620062, Russia

³Gorbatov Research Center for Food Systems,

⁴26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

Institute of Animal Husbandry and Pastures of the Tajik Academy of Agricultural Sciences, 17 Giprozem Str., Dushanbe, 734001, Tajikistan

УДК 575.22:636:637.1/3

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-85-92

Alimsoltan A. Ozdemirov ✉**Rabiyat A. Akayeva****Zukhra M. Huseynova****Patimat O. Alieva**Federal Agrarian Scientific Center
of the Republic of Dagestan,
Makhachkala, Russia

✉ alim72@mail.ru

Received by the editorial office: 16.10.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Ozdemirov A.A., Akayeva R.A.,
Huseynova Z.M., Alieva P.O.

Productivity and immune reactivity of small cattle with different genotypes

ABSTRACT

Modern methods of breed formation in animal husbandry underscore the importance of studying the influence of genetic factors on the productive qualities of farm animals. This research analyzes the association between candidate gene polymorphisms and meat productivity indicators and immune status in sheep. Genotyping of the GH, GDF9, and CAST loci was performed using the PCR-RFLP method in a sample of Dagestan Mountain sheep. Statistically significant associations were established between the genetic variants and the traits under study. Animals with the GH/HaeIII AB and GDF9/AspI EI AA genotypes were characterized by an increased level of CD4⁺ lymphocytes and a reduced content of CD8⁺ cells, resulting in higher values of the immunoregulatory index compared to carriers of the GH/HaeIII AA and GDF9/AspI EI GG genotypes. Analysis of productive qualities revealed the advantage of the CAST MM genotype over CAST MN in terms of live weight. A similar pattern was established for the GH AA genotype compared to GH AB. The obtained data demonstrate the promise of using molecular genetic markers in breeding programs for the simultaneous improvement of both productive characteristics and the immune status of sheep.

Key words: marker selection, genotyping, small ruminants, immune reactivity, productivity

For citation: Ozdemirov A.A., Akayeva R.A., Huseynova Z.M., Alieva P.O. Productivity and immunoreactivity of small ruminants of different genotypes. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 85–92.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-85-92>

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-85-92

А.А. Оздемиров ✉**Р.А. Акаева****З.М. Гусейнова****П.О. Алиева**Федеральный аграрный научный
центр Республики Дагестан,
Махачкала, Россия

✉ alim72@mail.ru

Поступила в редакцию: 16.10.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Оздемиров А.А., Акаева Р.А.,
Гусейнова З.М., Алиева П.О.

Продуктивность и иммунная реактивность мелкого рогатого скота разных генотипов

РЕЗЮМЕ

Современные методы породообразования в животноводстве актуализируют задачу изучения влияния генетических факторов на продуктивные качества сельскохозяйственных животных. В рамках настоящего исследования проведен анализ взаимосвязи полиморфизма генов-кандидатов с показателями мясной продуктивности и иммунного статуса у овец. Методом ПЦР-ПДРФ осуществлено генотипирование по локусам GH, GDF9 и CAST в выборке горных дагестанских овец. Установлены статистически значимые ассоциации между генетическими вариантами и изучаемыми признаками. Животные с генотипами GH/HaeIII AB и GDF9/AspI EI AA характеризовались повышенным уровнем CD4⁺-лимфоцитов и сниженным содержанием CD8⁺-клеток, что обусловило более высокие значения иммунорегуляторного индекса по сравнению с носителями генотипов GH/HaeIII AA и GDF9/AspI EI GG. В ходе анализа продуктивных качеств выявлено преимущество генотипа CASTMM над CASTMN по показателям живой массы. Аналогичная закономерность установлена для генотипа GHAA в сравнении с GHAB. Полученные данные демонстрируют перспективность использования молекулярно-генетических маркеров в селекционных программах для одновременного улучшения продуктивных характеристик и укрепления иммунного статуса овец.

Ключевые слова: селекция маркеров, генотипирование, мелкий рогатый скот, иммунная реактивность, продуктивность

Для цитирования: Оздемиров А.А., Акаева Р.А., Гусейнова З.М., Алиева П.О. Продуктивность и иммунореактивность мелкого рогатого скота разных генотипов. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 85–92 (in English).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-85-92>

Introduction/Введение

In sheep breeding, a key priority is the assessment and improvement of productivity, which depends on both genetic and environmental factors [1–5]. Breeding approaches that account for these factors are widely used in agricultural production and have contributed to better meat quality [6–9]. In practice, slaughter evaluation provides core indicators such as dressing percentage and carcass weight, which can correlate with specific genotypes [10–14]. Combining traditional methods with molecular tools, including genetic markers, enables systematic analysis of genetic resources and accelerates breeding programs¹ [15, 16]. Because many economically important traits are complex, results across breeds can be heterogeneous; continued study is needed to refine gene–trait links, manage genetic diversity, and improve prediction of productivity [17–21].

Maintaining diversity is also essential to avoid inbreeding depression under intensive selection schemes [22, 23]. For effective use of selection tools, the genetic structure of local populations must be described [24]. Identifying associations between gene variants and meat-production traits enables development of assays and, ultimately, genomic selection pipelines [25–28].

The Dagestan Mountain (DM) sheep and several other regionalized breeds remain understudied in this respect [29–31]. Marker-assisted selection (MAS) in sheep increasingly relies on well-characterized candidate genes. Polymorphisms in GH, CAST (calpastatin), and GDF9 (growth differentiation factor 9) have been extensively studied across breeds, with reported associations to growth, carcass/tenderness, and reproductive traits (GH [31–34], CAST [35–37], GDF9 [38–40]).

Building on this evidence, our study quantifies allele/genotype frequencies in [population] and tests genotype–phenotype associations relevant for selection. Improving economically important traits in DM sheep while conserving breed specificity is expected to raise meat quality and sustain adaptability to harsh local environments. Introducing validated DNA markers into selection schemes for DM sheep and relevant crossbreeds can increase selection efficiency and positively impact production metrics [41, 42].

Despite extensive evidence for GH, CAST and GDF9, data for Dagestan Mountain sheep and regional crosses are lacking. Given the breed's economic role and the need for rapid on-farm decisions, locally validated marker–trait associations are required to de-risk selection and improve prediction of growth and carcass outcomes. Therefore, we aimed to validate

polymorphisms in GH, CAST, and GDF9 in DM sheep and crosses, quantify their associations with growth, carcass, and immune traits, and derive selection-ready recommendations for marker-assisted decisions under farm conditions.

Materials and methods /

Материалы и методы исследования

The study was conducted at Agrofirma “Sogratl”, Gunibsky District, Republic of Dagestan, Russia, during 2022–2023 under lowland and mountainous grazing. The cohort comprised 114 crossbred sheep (Dagestan Mountain × Russian Meat Merino; 85 ewes, 29 rams) maintained under comparable feeding and housing.

Observational design to evaluate genotype–phenotype associations relevant for selection. Primary factor (fixed effect): genotype at candidate loci (GH, CAST, GDF9); levels used in analyses: GH (AA, AB), CAST (MM, MN), GDF9 (AA, AG, GG). Covariates: sex; age or measurement stage (where applicable).

Primary outcomes: longitudinal live weight; carcass traits (slaughter subset); immune cell subsets with immune-regulatory index (IRI = CD4⁺/CD8⁺). Reporting of genetic associations aligns with STREGA. Jugular venous blood (5–10 ml) was collected aseptically into heparinized vacutainers (25 U/ml). Samples were stored at 4 °C for up to 24 h or frozen at –20 °C until DNA extraction. Genomic DNA was isolated with DIALOM™ DNAPrep (IsoGeneLab, Moscow); typical yield 3–5 µg/100 µl, A260/280 = 1.6–2.0. Three loci were genotyped by PCR-RFLP: GH (HaeIII), CAST (MspI), GDF9 (BstHII).

Primer pairs/annealing temperatures and expected amplicons are summarized in Table 1. PCRs were performed in 20–25 µl reactions (1 × buffer, 1.5–2.0 mM MgCl₂, 0.2 mM each dNTP, 0.4 µM each primer, 1 U Taq polymerase) with cycling 95 °C 3 min; 35 cycles of 95 °C 30 s, annealing 60–63 °C 30 s, 72 °C 30 s; final 72 °C 5 min. Amplicons were digested with the specified endonucleases and resolved on 2–3% agarose; two independent readers called genotypes from fragment patterns [34].

The samples were stored at 4 °C for up to 24 hours or frozen at –20 °C until DNA extraction for PCR-RFLP genotyping of GH, GDF9, and CAST genes Table 1.

The experiment was conducted in compliance with the requirements set out in Directive of the European Parliament and of the Council of the European Union of 22 September 2010 No. 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes and the principles² of treatment of animals in accordance with Article 4 of Federal Law No. 498-FZ³.

¹ Оценка изменчивости генов, ассоциированных с живой массой и шерстной продуктивностью овец: научно-методические рекомендации / Г.М. Гончаренко, Т.Н. Хашируев, С.М. Даширмаев и др. Чита: Институт развития образования Забайкальского края. 2024; 35. ISBN 978-5-6045472-6-7, EDN WJGWSL

² Directive of the European Parliament and of the Council of the European Union On the protection of animals used for scientific purposes. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

³ Федеральный закон от 20.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Table 1. Primers and PCR-RFLP conditions for candidate loci

Gene	Nucleotide sequences	T (°C), Annealing	Amplicon, bp	Endonuclease	Genotypes
CAST	F:5'-tggggccaatgacgccatcgatg-3' R:5'-gggtggagcactctgatcacc-3'	62	422	MspI	MM/MN
GH	F:5'-ggaggcaggaaggatgaa-3' R:5'-ccaaggaggaggagagacaga-3'	60	277	HaeIII	AA/AB/BB
GDF9	F:5'-gaagactggatggggaatg-3' R:5'-ccaatctgctctacacac-3'	63	462	BstHII	AA/AG/GG

Cellular immunity was assessed in carriers of selected GH and GDF9 genotypes by flow cytometry. Whole blood (EDTA) was stained with fluorochrome-conjugated monoclonal antibodies to CD3, CD4, CD8, and CD21 with appropriate isotype controls; erythrocytes were lysed with a commercial kit. Data were acquired on an Attune™ NxT Acoustic Focusing Flow Cytometer (Thermo Fisher Scientific, USA), a benchtop analyzer that uses acoustic-focusing fluidics; the system supports configurations with four lasers (405/488/561/637 nm) and up to 14 colors, and runs Attune Cytometric Software for acquisition and analysis.

Individual live weight was recorded at predefined stages birth, pre-transhumance, arrival on mountain pastures, weaning, pre-winter, arrival on winter pastures) using low-profile platform livestock scales Promves-PL-VZh (Promvesoborudovanie LLC, Yekaterinburg, Russia) — a non-automatic weighing instrument, OIML R 76 Class III, configured for static weighing with strain-gauge load cells. The model series is listed in the Russian State Register of Measuring Instruments (entry No. 87205-22; valid until 24 Oct 2027; inter-verification interval 1 year).

The farm configuration provided capacity 600–2000 kg (series options up to 40 000 kg), graduation 0.1–0.2 kg, and a 1000 × 2000 mm platform. Before each weighing session, the scale was checked with certified standard weights; two consecutive readings were averaged (difference ≤ 0.2 kg). Measurements adhered to the principles for non-automatic weighing instruments in OIML R 76; for national practice we also reference GOST 25955-83⁴ (methods for determining sheep productivity parameters). All animals were clinically healthy, and the conditions of their maintenance complied with zootechnical standards and zoohygienic requirements⁵.

Analyses were performed in R (v4.x) using lme4 for mixed models and emmeans for estimated marginal means; HardyWeinberg was used for Hardy — Weinberg tests. Live

weight (repeated measures) was analysed with a linear mixed model weight — genotype + stage + genotype: stage + sex + (1|animal); we report estimated marginal means (EMMs) with Tukey multiplicity adjustment for within-factor contrasts, effects (β), 95% CIs and two-sided P. Immunology traits were modelled as trait — genotype + sex + age + (1|batch); normality and homoscedasticity were checked on residuals, with log-transform or a GLMM alternative if assumptions were violated; EMMs are reported with multiplicity control.

Carcass traits were analysed with linear (or mixed) models trait — genotype + sex; given the small slaughter subset, we emphasised effect sizes with 95% CIs and used robust / permutation-based checks if normality was untenable. For genotypes, allele/genotype frequencies were computed and HWE was assessed per locus using the exact test (Hardy — Weinberg — HWExact) with a χ^2 sensitivity check; rare, unobserved levels (e. g., CAST NN) are explicitly documented. Across families of outcomes we additionally controlled the false-discovery rate (BH-FDR, $q < 0.05$). Factor coding and reference levels are specified in the Results/Supplement. Reporting of design, sample size, and statistics follows ARRIVE 2.0 and STREGA recommendations.

Results and discussion /

Результаты и обсуждение

The importance of the immune system for growth and development is especially relevant during the growth period of lambs, since it is during this period that the immune status is established.

The study of the levels of T — and B-lymphocytes in the blood of lambs of different genotypes made it possible to assess their immune potential Table 2.

It was found, that the Dagestan Mountain lambs with the genotypes GH/HaeIII AB and GDF9/AspIEIAA had a higher level of T-helpers and lower T-suppressors,

Table 2. Indicators of immune reactivity of lambs of different genotypes

Genotypes by genes	Indicator				
	Immune reactivity, 10 ⁹ /l				IRI
	T-cells	B-cells	T-suppressors	T-helpers	
Dagestan mountain breed of sheep (n = 30)					
GH ^{AA}	0.60 ± 0.09	0.52 ± 0.06	0.34 ± 0.04	0.23 ± 0.16	0.68
GH ^{AB}	0.69 ± 0.12	0.53 ± 0.08	0.26 ± 0.15	0.29 ± 0.06	1.1
GDF9 ^{GG}	0.59 ± 0.08	0.35 ± 0.1	0.40 ± 0.14	0.28 ± 0.14	0.7
GDF9 ^{AA}	0.66 ± 0.15	0.40 ± 0.14	0.3 ± 0.1	0.35 ± 0.16	1.2
GDF9 ^{AG}	0.61 ± 0.08	0.35 ± 0.12	0.38 ± 0.12	0.26 ± 0.14	0.68
Crossbred lambs (n = 20)					
GH/HaeIII ^{AA}	0.57 ± 0.08	0.42 ± 0.06	0.36 ± 0.14	0.37 ± 0.05	1.03
GH/HaeIII ^{AB}	0.62 ± 0.14	0.50 ± 0.12	0.42 ± 0.08	0.38 ± 0.14	0.9
GDF9/AspI ^{GG}	0.5 ± 0.06	0.42 ± 0.16	0.3 ± 0.04	0.37 ± 0.04	1.23
GDF9/AspI ^{AA}	0.65 ± 0.12	0.47 ± 0.16	0.32 ± 0.06	0.3 ± 0.02	0.94
GDF9/AspI ^{AG}	0.54 ± 0.14	0.46 ± 0.06	0.34 ± 0.06	0.35 ± 0.02	1.03

⁴ ГОСТ 25955-83 Сельскохозяйственная племенная продуктивность. Методы определения показателей продуктивности овец. М.: Издательство стандартов. 1983; 13.

⁵ ГОСТ 34088-2017 Руководство по размещению и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за сельскохозяйственными животными. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2018; 36.

which affected on the immunoregulatory index (IRI), making it higher, compared to the lambs of the genotypes GH/HaeIII AA and GDF9/AspIcGG.

Crossbred lambs also had a higher number of B — and T-lymphocytes with genotypes GH/HaeIII AB and GDF9/AspIcIAA. The studies show, that the body's reactivity on negative environmental influences is specific for each genotype and is apparently determined by an innate genetic program. This program allows to increase production of T — and B-lymphocytes, as well as T-helpers, but decrease the number of T-suppressors. Such regulation helps to correct and strengthen of the adaptation and compensation systems in the body on various stages of its development.

With the development of molecular genetics, new opportunities are opening up for optimizing of breeding selection and increasing of the efficiency of livestock farms.

A key aspect is the identification of genotypes, that can improve the productive characteristics of animals. Particular attention is paid to genes, that affect on productive qualities, including the growth hormone gene (GH) and calpain (CAST).

In the context of studying of the effect of genetic markers on the weight of Dagestan Mountain lambs, their weight was measured on various stages of life.

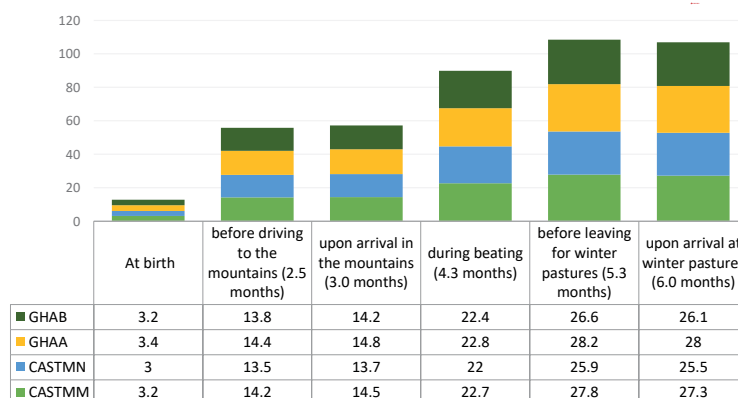
This made it possible to evaluate the relationship between various forms of the CAST and GH genes and changes of live weight (Fig. 1).

Analysis of the sheep weight showed, that the greatest increase of weight was observed before the period of grazing on summer pastures, when the average gain was 14.6 kg. Also, a significant gain 23.0 kg was recorded in the time of separation of mothers from lambs. At the same time, the lowest weight indicators were noted during the period of movement between winter and summer pastures, while their average weight was 27.1 kg.

During the study of various stages of development of experimental individuals, it was revealed, that the highest rates of weight gain were observed in individuals with certain genetic markers. Thus, individuals, carrying a combination of MM on the CAST gene and AA on the GH gene, demonstrated the best results in body weight gain and daily weight gain. It is noted, that the sample of analysis did not include individuals with the CASTNN and GHBB genotypes, which excludes the possibility of their assessment within the framework of the study. The study showed, that animals with the CASTMM genotype have a larger mass on average, compared to their relatives with the CASTMN genotype.

Observations in different periods revealed the following differences in mass: before being taken to pasture, the difference was 4.9%, and when the cattle reached the mountain pastures — 5.5%. After the summer period, during weaning, the gap decreased

Fig. 1. Live weight indicators of Dagestan Mountain ewe lambs of different genotypes



to 3.1%. However, before being sent to wintering and upon arrival there, the difference increased to 6.9 and 6.6% respectively.

In relation to the GH gene, differences in weight gain were also observed between carriers of the GHAA and GHAB genotypes.

Thus, when grazing on summer pastures, animals with the GHAA genotype had a 4.2% weight advantage. When the cattle reached summer pastures, the weight difference was — 4.8%. The difference between carriers of the AA and AB alleles increased before being sent to wintering and upon arrival there, and amounted to 5.7 and 6.8%, respectively.

The study showed, that certain genotypes, namely GHAA and CASTMM, demonstrate better results in live weight and weight gain, compared to GHAB and CASTMN. The observed differences in productivity become especially noticeable during key periods of cattle breeding, such as the transfer of animals to summer and winter pastures. At critical moments, such as before the cattle are driven to the mountains and back, as well as during of the change of seasonal pastures, the advantage of the GHAA and CASTMM genotypes becomes obvious.

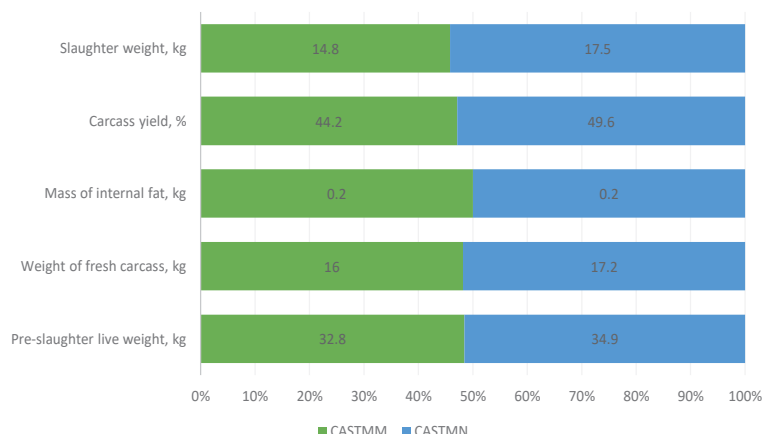
To analyze the quality characteristics of meat of different sheep genotypes, including its composition and nutritional value, control slaughters are carried out. During the study, crossbred rams with the CASTMM and CASTMN genotypes were weighed individually. This allowed us to select animals with similar weights for slaughter. Before the slaughter procedure, specialists examined the sheep to ensure their health and readiness for slaughter.

The study of different genotypes of CASTMM and CASTMN sheep showed interesting differences in their parameters before and after slaughter.

Animals with the CASTMM genotype (Fig. 2) demonstrated better results on number of indicators.

When evaluating of the carcass after slaughter, the difference was also noticeable: CASTMM ewes surpassed CASTMN on 7.0% in terms of fresh carcass weight. While in terms of internal fat content, ewes with the CASTMN and CASTMN genotypes showed equal values. The percentage of carcass weight to live weight was on 10.9% higher in CASTMM, indicating

Fig. 2. Results of control slaughter of crossbred rams with genotypes CASTMM and CASTMN



on their more favorable slaughter qualities. In general, compared to CASTMN, the slaughter weight in ewes with the CASTMM genotype was almost on 15.4% higher, which can play a significant role in commercial breeding.

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.

Conclusions/Выводы
Based on the study results, the CASTMM genotype demonstrates statistically significant advantages for carcass-related traits under the evaluated farm conditions. The GHAA genotype shows a consistent association with pre-weaning growth performance in lambs.

The confirmed marker-trait relationships support the practical application of GH and CAST markers in marker-assisted selection programs for Dagestan Mountain sheep and their crossbred populations.

To enhance the generalizability and reliability of these estimates, further validation across larger and more diverse multi-farm cohorts is recommended. These findings provide valuable insights for breeding programs aimed at improving meat productivity traits in sheep populations.

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 article was prepared as part of the implementation of the topic of the state assignment of the Federal State Budgetary Institution "Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan "Improving the breeding and productive qualities of zoned breeds of dairy and beef cattle, sheep based on genomic breeding methods"» No. FNMN-2023-0012.

REFERENCES

- Rani C. *et al.* Genetic variation in host immune response to major infectious diseases in bovines and its application in animal breeding: a review. *Exploratory Animal and Medical Research*. 2023; 13(2): 146–157. <https://doi.org/10.52635/eamr/13.2.146-157>
- Kosimov M.A., Yuldashbaev Yu.A., Kosimov A.M., Pogosyan G.A., Mamedov A.A.ogly. Trends in the development of sheep breeding in the world. *Sheep, goats, wool business*. 2025; (1): 3–5 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2025-1-3-5>
- Chernobay E.N., Rezun N.A., Onishchenko O.N., Ismailov I.S. Current state and methods of increasing sheep productivity. *Genomics and biotechnology in agriculture: a collection of scientific articles based on the materials of the plenary session of the 88th scientific and practical conference of the Stavropol State Agricultural University "Agrarian Science – to the North Caucasus Federal District"*. Stavropol: Stavropol State Agrarian University. 2023; 48–52 (in Russian). <https://elibrary.ru/crjwgj>
- Samusenko L.D., Mamaev A.V., Khimicheva S.N., Rodina N.D., Sergeeva E.Yu. A model of bioenergetic assessment and forecasting of wool productivity in sheep breeding. *Agrarian science*. 2025; (9): 54–61 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-54-61>
- Yuldashbaev Yu.A., Korneenko-Zhilyaeva S.A., Pakhomova E.V., Naumenko I.B. Prospects for the development of meat and dairy sheep breeding. *Zootechnical and veterinary science – the basis for the innovative development of animal husbandry in Russia. Collection of articles, based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the founding of the Institute of Animal Science and Biology of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev*. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 2024; 128–133 (in Russian). <https://elibrary.ru/nqqphm>
- Eusebi P.G., Martinez A., Cortes O. Genomic Tools for Effective Conservation of Livestock Breed Diversity. *Diversity*. 2019; 12(1): 8. <https://doi.org/10.3390/d12010008>

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан "Совершенствование племенных и продуктивных качеств районированных пород молочного и мясного скота, овец на основе методов геномной селекции"» № ФНМН-2023-0012.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Rani C. *et al.* Genetic variation in host immune response to major infectious diseases in bovines and its application in animal breeding: a review. *Exploratory Animal and Medical Research*. 2023; 13(2): 146–157. <https://doi.org/10.52635/eamr/13.2.146-157>
- Косимов М.А., Юлдашбаев Ю.А., Косимов А.М., Погосян Г.А., Мамедов А.А.оглы. Тенденции развития овцеводства в мире. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2025; (1): 3–5. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2025-1-3-5>
- Чернобай Е.Н., Резун Н.А., Онищенко О.Н., Исмаилов И.С. Современное состояние и методы повышения продуктивности овец. *Геномика и биотехнологии в сельском хозяйстве: сборник научных статей по материалам пленарного заседания 88-й научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу»*. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет. 2023; 48–52. <https://elibrary.ru/crjwgj>
- Самусенко Л.Д., Мамаев А.В., Химичева С.Н., Родина Н.Д., Сергеева Е.Ю. Модель биоэнергетической оценки и прогнозирования шерстной продуктивности в овцеводстве. *Аграрная наука*. 2025; (9): 54–61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-54-61>
- Юлдашбаев Ю.А., Корнеенко-Жилыева С.А., Пахомова Е.В., Науменко И.Б. Перспективы развития мясного и молочного овцеводства. *Зootехническая и ветеринарная наука – основа инновационного развития животноводства России. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Института зоотехнии и биологии РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева*. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. 2024; 128–133. <https://elibrary.ru/nqqphm>
- Eusebi P.G., Martinez A., Cortes O. Genomic Tools for Effective Conservation of Livestock Breed Diversity. *Diversity*. 2019; 12(1): 8. <https://doi.org/10.3390/d12010008>

7. Galanova E.S., Bobryshov S.S., Karpova E.D. Current trends and prospects for the development of sheep breeding productivity by crossing domestically selected ewes with imported rams. *Promising developments of young scientists in the field of veterinary medicine, production and processing of agricultural products*. Stavropol: Stavropol State Agrarian University. 2024; 103–108 (in Russian). <https://elibrary.ru/tdvohv>
8. Golaev Sh.Kh., Galanova E.S., Bondar A.V., Filipenkova V.A. Prospects for linear breeding in sheep breeding. *Promising developments of young scientists in the field of veterinary medicine, production and processing of agricultural products*. Stavropol: Stavropol State Agrarian University. 2024; 48–51 (in Russian). <https://elibrary.ru/bcssvx>
9. Abdurasulov A.Kh., Kalandarov M.A., Rebezov M.B., Kosilov V.I. Live weight and body features of Ala-Too sheep. *Agrarian science*. 2025; (10): 71–80 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-71-80>
10. Baranova N.S., Furaeva N.S., Zvereva E.A., Korolev A.A., Vorobyeva S.S. Determination of optimal blood parameters for the Brown Swiss breed when improving Kostroma breed cattle. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2024; (4): 13–18 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.51.19.003>
11. Andrienko D.A., Traisov B.B., Rebezov M.B., Galieva Z.A. Morphological composition of carcasses of young Stavropol sheep in the Southern Urals. *Science and Education*. 2020; 3–1(60): 20–25 (in Russian). <https://elibrary.ru/gpvhdh>
12. Dnekeshev A.K., Musa R.K. Ratio of hot carcass and by-products to live weight at different ages of castration of rams. *Modern problems and technologies in animal husbandry. Collection of works based on the results of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of the Honored Scientist of the Russian Federation, Honorary Worker of the Higher Professional Education of the Russian Federation, Head of the Department of Breeding Farm Animals (from 1981 to 1991), Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy L.P. Prakhov*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Ya. Florentyev. 2024; 112–118 (in Russian). <https://elibrary.ru/xheltc>
13. Belookova O.V., Rebezov M.B., Lennikova M.G., Zybilitseva M.A. Influence of zoohygienic parameters on meat productivity of pigs. *Bulletin of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary science and animal husbandry*. 2024; 4(9): 52–64 (in Russian). [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4\(9\)_8](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4(9)_8)
14. Gritsenko S.A., Belookov A.A., Ermolov S.M., Rebezov M.B., Gritsenko M.D. Exterior indicators of maternal breed pigs at different stages of ontogenesis. *Agrarian science*. 2025; (9): 45–53 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-45-53>
15. Sahib M.R., AL-Jaryan I.L., Al-Thuwaini T.M. GDF9 gene c. 260G > A mutation and sheep litter size: a meta-analysis. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2024; 75(2): 7493–7500. <https://doi.org/10.12681/jhvms.35128>
16. Guseinova Z.M. New candidate genes associated with meat productivity traits in sheep. *Current problems and prospects for the development of the agro-industrial complex of the Republic of Dagestan. Proceedings of the regional scientific and practical conference*. Makhachkala: Individual entrepreneur S.A. Magomedaliyev. 2024; 70–74 (in Russian). <https://elibrary.ru/tlvhgm>
17. Krivoruchko A.Yu., Skokova A.V., Yatsyk O.A., Kanibolotskaya A.A. Modern approaches to the genetic identification of farm animal breeds (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(3): 317–328 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.317-328>
18. Alieva P.O. A new approach to the selection of candidate genes in sheep breeding. *Actual problems and prospects for the development of the agro-industrial complex of the Republic of Dagestan: Proceedings of the regional scientific and practical conference*. Makhachkala: Individual entrepreneur S.A. Magomedaliyev. 2024; 34–39 (in Russian). <https://elibrary.ru/pnaswe>
19. Nikonova E.A. et al. Efficiency of growing purebred and crossbred rams. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2023; (4): 164–170 (in Russian). https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_24
7. Галанова Е.С., Бобрышов С.С., Карпова Е.Д. Современные тенденции и перспективы развития продуктивности овцеводства при скрещивании маток отечественной селекции с баранами импортных пород. *Перспективные разработки молодых ученых в области ветеринарии, производства и переработки сельскохозяйственной продукции*. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет. 2024; 103–108. <https://elibrary.ru/tdvohv>
8. Голаев Ш.Х., Галанова Е.С., Бондарь А.В., Филипенкова В.А. Перспективы линейного разведения в овцеводстве. *Перспективные разработки молодых ученых в области ветеринарии, производства и переработки сельскохозяйственной продукции*. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет. 2024; 48–51. <https://elibrary.ru/bcssvx>
9. Абдурасулов А.Х., Каландаров М.А., Ребезов М.Б., Косилов В.И. Живая масса и особенности телосложения овец породы ала-тоо. *Аграрная наука*. 2025; (10): 71–80. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-71-80>
10. Баранова Н.С., Фураева Н.С., Зверева Е.А., Королев А.А., Воробьева С.С. Определение оптимальных параметров кровности по бурой швицкой породе при совершенствовании скота костромской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2024; (4): 13–18. <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.51.19.003>
11. Андриенко Д.А., Траисов Б.Б., Ребезов М.Б., Галиева З.А. Морфологический состав туш молодняка овец ставропольской породы на Южном Урале. *Наука и образование*. 2020; 3–1(60): 20–25. <https://elibrary.ru/gpvhdh>
12. Днекешев А.К., Муса Р.К. Соотношение парной туши и субпродуктов к живой массе при разных возрастах кастрации баранчиков. *Современные проблемы и технологии в животноводстве. Сборник трудов по итогам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ, почетного работника ВПО РФ, заведующего кафедрой разведения сельскохозяйственных животных (с 1981 по 1991 г.) д-ра с.-х. наук, профессора Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии Л.П. Прахова*. Нижний Новгород: Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева. 2024; 112–118. <https://elibrary.ru/xheltc>
13. Белоокова О.В., Ребезов М.Б., Ленникова М.Г., Зяблицева М.А. Влияние зооигиенических параметров на мясную продуктивность свиней. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; 4(9): 52–64. [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4\(9\)_8](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_4(9)_8)
14. Гриценко С.А., Белооков А.А., Ермолов С.М., Ребезов М.Б., Гриценко М.Д. Показатели экстерьера свинок материнской породы на различных этапах онтогенеза. *Аграрная наука*. 2025; (9): 45–53. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-45-53>
15. Sahib M.R., AL-Jaryan I.L., Al-Thuwaini T.M. GDF9 gene c. 260G > A mutation and sheep litter size: a meta-analysis. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2024; 75(2): 7493–7500. <https://doi.org/10.12681/jhvms.35128>
16. Гусейнова З.М. Новые гены — кандидаты, связанные с признаками мясной продуктивности овец. *Актуальные проблемы и перспективы развития АПК Республики Дагестан. Материалы региональной научно-практической конференции*. Махачкала: С.А. Магомедалиев. 2024; 70–74. <https://elibrary.ru/tlvhgm>
17. Криворучко А.Ю., Скокова А.В., Яцык О.А., Каниболоцкая А.А. Современные подходы генетической идентификации породной принадлежности сельскохозяйственных животных (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(3): 317–328. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.317-328>
18. Алиева П.О. Новый подход к подбору генов-кандидатов в овцеводстве. *Актуальные проблемы и перспективы развития АПК Республики Дагестан. Материалы региональной научно-практической конференции*. Махачкала: С.А. Магомедалиев. 2024; 34–39. <https://elibrary.ru/pnaswe>
19. Никонова Е.А. и др. Эффективность выращивания чистопородных и помесных баранчиков. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2023; (4): 164–170. https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_24

20. Gerasimova T.G., Rebezov M.B., Lukin E.V. Wool productivity of sheep of different genotypes. *Actual problems of intensive development of animal husbandry. Collection of papers based on the materials of the national scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of the Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher professional education of the Russian Federation, honorary citizen of the Bryansk region, Doctor of Biology, Professor E.P. Vashchekin*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022; 300–303 (in Russian). <https://elibrary.ru/fkpdfx>
21. Kosilov V.I. et al. The effect of the genotype of young sheep on the nitrogen balance. *Agrarian science*. 2025; (4): 81–87 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-81-87>
22. Milchevsky V.D., Dvalishvili V.G., Zhiryakov A.M. On inbreeding and rotations in pair selection in sheep flocks. *Sheep, goats, wool business*. 2017; (2): 4–7 (in Russian). <https://elibrary.ru/yrrkuv>
23. Lakota E.A., Vorontsova O.A. Exterior-productive indicators of Stavropol breed sheep aged 13–14 months with inbreeding selection. *Agrarian science*. 2023; (8): 65–71 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-65-71>
24. Dzhatdov Kh.M., Erkenov T.A. Polymorphism of non-coding sequences in Karachai sheep. *Agrarian science*. 2024; (12): 109–112 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-109-112>
25. Daveteeva M.A. Modern methods of genotyping in animal husbandry. *A modern view on the development of the fishing industry complex. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (within the framework of the "Priority 2030" program)*. Makhachkala: Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov. 2024; 286–297 (in Russian). <https://elibrary.ru/iwyrso>
26. Zabelina M.V., Amiyana A.A. Evaluation of the slaughter indicators of the Edilbaevsky sheep breed depending on the milk productivity of sheep. *Agrarian science*. 2024; (8): 112–117 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-112-117>
27. Moroz V.A., Chernobai E.N., Novgorodova N.A., Serdyukov I.G. Live weight and exterior characteristics of sheep from homogeneous and heterogeneous selection. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2017; 2(22): 51–53 (in Russian).
28. Lakota E.A. The influence of parental age on the productive qualities of offspring sheep. *Agrarian science*. 2025; (7): 57–61 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-57-61>
29. Zinovieva N.A. et al. Genome-wide SNP analysis clearly distinguished the Belarusian Red cattle from other European cattle breeds. *Animal Genetics*. 2021; 52(5): 720–724. <https://doi.org/10.1111/age.13102>
30. Petherbridge G. et al. Verkhnee Gakvari: The contribution of adat, religious beliefs and public education to collective environmental management in an agro-pastoral community in the Dagestan high Caucasus. *South of Russia: ecology, development*. 2021; 16(3): 142–179. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-142-179>
31. Prozherin V.P., Yaluga V.L. Holmogorskaya breed. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2020; (7): 10 (in Russian). <https://elibrary.ru/brmwde>
32. Pelmuş R.Ş., Grosu H., Rotar M.C., Gras M.A., Lazăr C., Popa F. The Genetic Influence on Sheep Meat Quality, Growth and Body Weight: A Review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 2020; 39(3): 225–231. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-176>
33. El-Mansy S.A. et al. The growth hormone gene polymorphism and its relationship to performance and carcass features in Egyptian Awassi lambs. *Heliyon*. 2023; 9(3): e14194. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14194>
34. Tanış A.N., Keskin İ. Association between growth hormone gene polymorphism and some growth traits in Akkaraman and Anatolian Merino sheep. *Molecular Biology Reports*. 2024; 52: 54. <https://doi.org/10.1007/s11033-024-10126-2>
35. Dagdelen U., Esenbuga N. Association of GH/HaeIII polymorphism with growth and developmental traits of Morkaraman sheep. *Archives Animal Breeding*. 2025; 68(3): 575–587. <https://doi.org/10.5194/aab-68-575-2025>
36. Greguła-Kania M., Gruszecki T.M., Junkuszew A., Juszcuk-Kubiak E., Florek M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep. *Meat Science*. 2019; 154: 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.007>
37. Jawasreh K.I., Al-Amareen A.H., Aad P.Y. Relationships between HhaI Calpastatin Gene Polymorphism, Growth Performance, and Meat Characteristics of Awassi Sheep. *Animals*. 2019; 9(9): 667. <https://doi.org/10.3390/ani9090667>
20. Герасимова Т.Г., Ребезов М.Б., Лукин Е.В. Шерстная продуктивность овец разного генотипа. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Сборник трудов по материалам национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти заслуженного работника Высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, почетного гражданина Брянской области д-ра биол. наук, профессора Е.П. Ващекина*. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2022; 300–303. <https://elibrary.ru/fkpdfx>
21. Косилов В.И. и др. Влияние генотипа молодняка овец на баланс азота. *Аграрная наука*. 2025; (4): 81–87. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-81-87>
22. Мильчевский В.Д., Двалишвили В.Г., Жиряков А.М. Об инбридинге и ротациях при подборе пар в стадах овец. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2017; (2): 4–7. <https://elibrary.ru/yrrkuv>
23. Лакота Е.А., Воронцова О.А. Экстерьерно-продуктивные показатели овец ставропольской породы в возрасте 13–14 месяцев при внутрипородном отборе. *Аграрная наука*. 2023; (8): 65–71. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-65-71>
24. Джатдоев Х.М., Эркенов Т.А. Полиморфизм некодирующих последовательностей у овец карачаевской породы. *Аграрная наука*. 2024; (12): 109–112. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-109-112>
25. Даветеева М.А. Современные методы генотипирования в животноводстве. *Современный взгляд на развитие рыбопромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (в рамках программы «Приоритет-2030»)*. Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова. 2024; 286–297. <https://elibrary.ru/iwyrso>
26. Забелина М.В., Амиян А.А. Оценка показателей убоя баранчиков эдилбаевской породы в зависимости от молочной продуктивности овцематок. *Аграрная наука*. 2024; (8): 112–117. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-112-117>
27. Мороз В.А., Чернобай Е.Н., Новгородова Н.А., Сердюков И.Г. Живая масса и экстерьерные особенности овец от однородного и разнородного подбора. *Вестник Курганской ГСХА*. 2017; 2(22): 51–53.
28. Лакота Е.А. Влияние возраста родителей на продуктивные качества потомства у овец. *Аграрная наука*. 2025; (7): 57–61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-57-61>
29. Zinovieva N.A. et al. Genome-wide SNP analysis clearly distinguished the Belarusian Red cattle from other European cattle breeds. *Animal Genetics*. 2021; 52(5): 720–724. <https://doi.org/10.1111/age.13102>
30. Петербридж Г. и др. Верхнее Гаквари: вклад адата, религиозных убеждений и народного образования в коллективное управление окружающей средой в агропастырском сообществе Дагестанской части Большого Кавказа. *Юг России: экология, развитие*. 2021; 16(3): 142–179 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-142-179>
31. Прожерин В.П., Ялуга В.Л. Холмогорская порода. *Молочное и мясное скотоводство*. 2020; (7): 10. <https://elibrary.ru/brmwde>
32. Pelmuş R.Ş., Grosu H., Rotar M.C., Gras M.A., Lazăr C., Popa F. The Genetic Influence on Sheep Meat Quality, Growth and Body Weight: A Review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 2020; 39(3): 225–231. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-176>
33. El-Mansy S.A. et al. The growth hormone gene polymorphism and its relationship to performance and carcass features in Egyptian Awassi lambs. *Heliyon*. 2023; 9(3): e14194. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14194>
34. Tanış A.N., Keskin İ. Association between growth hormone gene polymorphism and some growth traits in Akkaraman and Anatolian Merino sheep. *Molecular Biology Reports*. 2024; 52: 54. <https://doi.org/10.1007/s11033-024-10126-2>
35. Dagdelen U., Esenbuga N. Association of GH/HaeIII polymorphism with growth and developmental traits of Morkaraman sheep. *Archives Animal Breeding*. 2025; 68(3): 575–587. <https://doi.org/10.5194/aab-68-575-2025>
36. Greguła-Kania M., Gruszecki T.M., Junkuszew A., Juszcuk-Kubiak E., Florek M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep. *Meat Science*. 2019; 154: 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.007>
37. Jawasreh K.I., Al-Amareen A.H., Aad P.Y. Relationships between HhaI Calpastatin Gene Polymorphism, Growth Performance, and Meat Characteristics of Awassi Sheep. *Animals*. 2019; 9(9): 667. <https://doi.org/10.3390/ani9090667>

38. Daldaban F., Karakus F., Arslan K., Cinar M.U., Akyuz B. The Role of *DGAT1-Alul* and *CAST-MspI* Polymorphisms in Early Growth Traits of Morkaraman Lambs. *Veterinary Medicine and Science*. 2025; 11(3): e70395. <https://doi.org/10.1002/vms3.70395>
39. Zhang Y. *et al.* Association of *BMP15* and *GDF9* Gene Polymorphisms with Litter Size in Hu Sheep. *Genes*. 2025; 16(2): 168. <https://doi.org/10.3390/genes16020168>
40. Budiyo A., Hartanto S., Widayanti R., Setyawan E.M.N., Wardono H.P., Gustari S. The relationship between G1 (c. 260 G > A) and G4 (c. 721 G > A) polymorphisms in the GDF9 gene and the litter size of sheep: A meta-analysis study. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2023; 10(4): 599–607. <http://doi.org/10.5455/javar.2023.j715>
41. Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S., Dogeev G.D., Abdulmagomedov S.Sh. Polymorphism of genes *CAST*, *GH*, *GDF9* of sheep of the Dagestan mountain breed. *South of Russia: ecology, development*. 2021 16(2): 39–44 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44>
42. Volkova V.V. *et al.* Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers. *Diversity*. 2022; 14(7): 569. <https://doi.org/10.3390/d14070569>

ABOUT THE AUTHORS

Alimsoltan Akhmedovich Ozdemirov

Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding
alim72@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

Rabiyat Alibulatovna Akayeva

Research Associate
akaeva111r@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5682-6712>

Zukhra Magomedovna Huseynova

Research Associate
makki-2016@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1728-2844>

Patimat Omarovna Alieva

Research Associate
alieve.patimat.2018@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1482-417X>

Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan,
30 Abdurazak Shakhbanov Str., Makhachkala, 367014, Russia

38. Daldaban F., Karakus F., Arslan K., Cinar M.U., Akyuz B. The Role of *DGAT1-Alul* and *CAST-MspI* Polymorphisms in Early Growth Traits of Morkaraman Lambs. *Veterinary Medicine and Science*. 2025; 11(3): e70395. <https://doi.org/10.1002/vms3.70395>

39. Zhang Y. *et al.* Association of *BMP15* and *GDF9* Gene Polymorphisms with Litter Size in Hu Sheep. *Genes*. 2025; 16(2): 168. <https://doi.org/10.3390/genes16020168>

40. Budiyo A., Hartanto S., Widayanti R., Setyawan E.M.N., Wardono H.P., Gustari S. The relationship between G1 (c. 260 G > A) and G4 (c. 721 G > A) polymorphisms in the GDF9 gene and the litter size of sheep: A meta-analysis study. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2023; 10(4): 599–607. <http://doi.org/10.5455/javar.2023.j715>

41. Оздемиров А.А., Чижова Л.Н., Хожокоев А.А., Суржикова Е.С., Догеев Г.Д., Абдулмагомедов С.Ш. Полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* овец дагестанской горной породы. *Юг России: экология, развитие*. 2021; 16(2): 39–44. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44>

42. Volkova V.V. *et al.* Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers. *Diversity*. 2022; 14(7): 569. <https://doi.org/10.3390/d14070569>

ОБ АВТОРАХ

Алимсолтан Ахмедович Оздемиров

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела
alim72@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

Рабият Алибулатовна Акаева

научный сотрудник
akaeva111r@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5682-6712>

Зухра Магомедовна Гусейнова

научный сотрудник
makki-2016@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1728-2844>

Патимат Омаровна Алиева

научный сотрудник
alieve.patimat.2018@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1482-417X>

Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан,
ул. Абдуразака Шахбанова, 30, Махачкала, 367014, Россия

УДК 636:591.391.1: 591.158.1

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98

Г.Н. Сингина ✉

Е.Н. Шедова

А.В. Лопухов

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ
им. академика Л.К. Эрнста,
Подольск, Московская обл., Россия

✉ g_singina@mail.ru

Поступила в редакцию: 05.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Сингина Г.Н., Шедова Е.Н., Лопухов А.В.

Влияние различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 на *in vitro* созревание ооцитов и последующее развитие партеногенетических эмбрионов у крупного рогатого скота

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Инсулиноподобный фактор роста 1 (insulin-like growth factor-1, IGF-1) вовлечен *in vivo* в регуляцию мейоза, в связи с чем активно изучается как потенциальный регулятор качества ооцитов с целью повышения эффективности биотехнологий, направленных на получение эмбрионов *in vitro*. В настоящей работе исследовали влияние IGF-1 в культуре ооцитов коров с точки зрения их созревания *in vitro* и эмбрионального развития после искусственной активации, а также качества полученных эмбрионов.

Методы. Выделенные из овариальных фолликулов ооциты культивировали в отсутствие (контроль) и присутствии различных концентраций (5, 10, 20, 40 и 80 нг/мл) IGF-1. Затем созревшие ооциты искусственно активировали и культивировали в течение 7 дней для эмбрионального развития.

Результаты. IGF-1 не повлиял на созревание ооцитов, а также на их дробление после партеногенетической активации и число ядер в 7-дневных эмбрионах. В то же время обнаружен зависящий от концентрации эффект IGF-1 на развитие ооцитов до стадии бластоцисты. В контроле выход бластоцист составлял $17,3 \pm 1,6\%$. Присутствие в среде созревания IGF-1 в концентрациях 5, 10 и 20 нг/мл повышало этот показатель, соответственно, до $29,9 \pm 4,5$, $30,7 \pm 3,6$ и $29,6 \pm 2,3\%$ ($p < 0,05$). Следовательно, в этих концентрациях IGF-1 может быть рекомендован для *in vitro* созревания ооцитов коров.

Ключевые слова: ооциты коров, *in vitro*, созревание, инсулиноподобный фактор роста 1 (ИФР-1), эмбриональное развитие

Для цитирования: Сингина Г.Н., Шедова Е.Н., Лопухов А.В. Влияние различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 на *in vitro* созревание ооцитов и последующее развитие партеногенетических эмбрионов у крупного рогатого скота. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 93–98.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98

Galina N. Singina ✉

Ekaterina N. Shedova

Alexandr V. Lopukhov

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Podolsk, Moscow
Region, Russia

✉ g_singina@mail.ru

Received by the editorial office: 05.09.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Singina G.N., Shedova E.N.,
Lopukhov A.V.

The effect of different concentrations of insulin-like growth factor-1 on *in vitro* maturation of oocytes and subsequent development of parthenogenetic embryos in cattle

ABSTRACT

Relevance. Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) is involved in the regulation of meiosis *in vivo* and is therefore actively investigated as a potential regulator of oocyte quality aimed at improving the efficiency of *in vitro* embryo production biotechnologies. In the present study, we examined the effect of IGF-1 during bovine oocyte culture in terms of their *in vitro* maturation, embryonic development after artificial activation, and the quality of the resulting embryos.

Materials and methods. Oocytes isolated from ovarian follicles were cultured either in the absence (control) or presence of various concentrations of IGF-1 (5, 10, 20, 40, and 80 ng/ml). Matured oocytes were then artificially activated and cultured for 7 days to support embryonic development.

Results. IGF-1 had no effect on oocyte maturation, cleavage, or the number of nuclei in blastocyst. At the same time, a concentration-dependent effect of IGF-1 on the development of oocytes to the blastocyst stage was observed. In the control group, the blastocyst yield was $17.3 \pm 1.6\%$. The presence of IGF-1 in the maturation medium at concentrations of 5, 10, and 20 ng/ml increased this rate to 29.9 ± 4.5 , 30.7 ± 3.6 , and $29.6 \pm 2.3\%$, respectively ($p < 0.05$). Thus, at these concentrations IGF-1 can be recommended for *in vitro* maturation of bovine oocytes.

Key words: cow oocytes, *in vitro*, maturation, insulin-like growth factor 1 (IGF-1), embryonic development

For citation: Singina G.N., Shedova E.N., Lopukhov A.V. The effect of different concentrations of insulin-like growth factor-1 on *in vitro* maturation of oocytes and subsequent development of parthenogenetic embryos in cattle. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 93–98 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98>

Введение/Introduction

Метод экстракорпорального созревания (*in vitro* maturation, IVM) половых клеток самок (ооцитов) с последующим культивированием эмбрионов *in vitro* интенсивно используется во вспомогательных репродуктивных технологиях (BPT) [1], применяемых в сельскохозяйственной биотехнологии. В скотоводстве эти BPT особенно востребованы в работах по воспроизводству и сохранению ценных генотипов коров [2, 3]. Одновременно возросший спрос на эмбрионы высокого качества определяет актуальность исследований, направленных на дальнейшее совершенствование метода IVM. Особое внимание уделяется поиску факторов, способных специфически воздействовать на ооциты, улучшая их качество и повышая компетенцию к развитию *in vitro* [4]. При этом воспроизведение физиологической среды, характерной для овариальных фолликулов, где происходит созревание ооцитов *in vivo*, рассматривается как наиболее обоснованный и перспективный подход [4].

Чтобы имитировать внутрифолликулярные условия в среды созревания ооцитов добавляются гормоны и различные метаболиты, к которым, в частности, относится инсулиноподобный фактор роста 1 (insulin-like growth factor-1, IGF-1) [5]. Показано, что IGF-1 задействован в аутокринной и паракринной регуляции функции яичников самок и может влиять на гранулезные и половые клетки, контролируя пролиферацию, дифференцировку и стероидогенез, а также созревание ооцитов [6, 7].

Рецепторы IGF-1 выявлены в ооцитах на всех стадиях их развития, и этот фактор роста в большом количестве секретируется окружающим ооцит-соматическим компартментом, в частности клетками кумулюса [8, 9]. На различных видах животных установлено, что присутствие IGF-1 в среде IVM ускоряет мейоз и снижает уровень апоптоза в ооцитах, а также способствует увеличению выхода эмбрионов доимплантационных стадий развития [9, 10].

Однако подобный позитивный эффект наблюдался не во всех исследованиях. В ряде работ сообщается об отсутствии чувствительности клеток к данному цитокину, а в отдельных случаях выявлен даже его негативный эффект на ооциты [11].

Предполагается (и это подтверждается экспериментальными данными), что характер участия IGF-1 в развитии ооцитов может быть связан среди прочего с его концентрацией в среде культивирования, необходимость в детализации которой сохраняет свою актуальность на сегодняшний день, в том числе у крупного рогатого скота [7, 11].

Как предварительное исследование настоящая работа проводилась на партеногенетической модели, чтобы в дальнейшем полученные результаты использовать для усовершенствования эмбриональных технологий, используемых на практике.

Цель исследования — изучение влияния различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1) в среде IVM ооцитов крупного рогатого

скота с точки зрения их созревания *in vitro*, а также эмбрионального развития после искусственной активации.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперименты проводили на базе лаборатории эмбриональных технологий Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста (Россия) в 2024 гг. Во всех экспериментах, кроме специально указанных случаев, использовали реагенты фирмы Sigma-Aldrich (США).

Яичники коров, отобранные *post mortem* на мясокомбинате, транспортировали в лабораторию в термосе с физиологическим раствором (ФЗ) при температуре не ниже 28 °С. После доставки их освобождали от прилегающих соединительных и жировых тканей, а затем многократно промывали в стерильном ФЗ, содержащем пенициллин (100 МЕ/мл) и стрептомицин (50 мкг/мл) (ООО «БиоФармГарант», Россия), чтобы удалить компоненты крови и микробную контаминацию.

Ооциты в составе ооцит-кумулюсных комплексов (ОКК) выделяли из яичников механическим способом — рассекали стенки видимых фолликулов лезвием, после чего проводили промыв и селекцию извлеченных ОКК, как описано было ранее [12].

Незрелые ОКК с соответствующими морфологическими характеристиками созревали *in vitro* в среде TC199, дополненной 10% фетальной бычьей сыворотки (ФБС), пируватом натрия (0,5 мМ), фолликулостимулирующим и лютеонизирующим гормонами (каждый по 10 мкг/мл), а также гентамицином. В опытных группах в среде IVM дополнительно присутствовал IGF-1 в концентрациях 5, 10, 20, 40 и 80 нг/мл. Культивировали ОКК группами по 25–30 ОКК в 4-луночных планшетах в каплях среды объемом 500 мкл, покрытых минеральным маслом.

Через 24 часа инкубации ооциты освобождали от окружающих клеток кумулюса путем кратковременной обработки ОКК в 0,1%-ном растворе гиалуронидазы с последующим пипетированием комплексов через капилляр с внутренним диаметром 135 мкм. Изолированные ооциты подвергали морфологической оценке с целью отбора клеток, достигших метафазы II (MII) мейоза, что определялось по наличию первого полярного тельца (ППТ) в перивителлиновом пространстве (ПП). Присутствие ППТ в ПП является общепринятым маркером зрелости ооцитов, поскольку отражает завершение первого мейотического деления и переход клетки к стадии, пригодной для искусственной или естественной (оплодотворения) активации [13]. В связи с этим результативность созревания ооцитов в каждой экспериментальной группе определяли как процентное отношение количества ооцитов с ППТ к общему числу поставленных на культивирование ОКК.

Для получения партеногенетических эмбрионов ооциты, имевшие ППТ, подвергали искусственной активации. В качестве первого этапа ооциты инкубировали в течение 5 минут в растворе, содержащем 5 мМ иономицина, что обеспечивало кратковременный кальциевый импульс, необходимый для запуска процессов, имитирующих оплодотворение. После этого ооциты переносили в среду CR1aa [14], дополненную 6-диметиламинопурином (2 мМ) и циклогексепидом (10 мкг/мл), где их культивировали в течение 4 часов. Активированные ооциты переносили в свежие капли среды CR1aa и культивировали для эмбрионального развития, как описано ранее [15]. На 2-е сутки с момента активации морфологически оценивали количество раздробившихся ооцитов, на 7-е сутки определяли количество ооцитов, развившихся до стадии бластоцисты. Результативность эмбрионального развития ооцитов *in vitro* определяли по доле дробления и образованию бластоцист — соответственно отношению количества раздробившихся и достигших стадии бластоцисты ооцитов к исходному количеству активированных ооцитов с ППТ.

Качество партеногенетических бластоцист оценивали цитологически по общему числу ядер. Для этого 7-дневные эмбрионы фиксировали, окрашивали и анализировали согласно протоколу, описанному ранее [12]. Все манипуляции с нативными ооцитами и эмбрионами вне инкубатора осуществляли при 20–80-кратном увеличении под стереомикроскопом (Nikon, Япония), оснащенным нагревательным столиком, позволяющим поддерживать температуру рабочей поверхности на уровне 37 °С. Культивирование ооцитов и эмбрионов происходило в условиях инкубатора MCO-18AIC (Sanyo, Япония) при 38,5 °С и 5% CO₂ в атмосфере.

Статистическую обработку данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа в программе SigmaStat (Systat Software, Inc., США). Данные выражали как средние значения

Таблица 1. Созревание ооцитов коров *in vitro* под воздействием различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1)

Table 1. In vitro maturation of bovine oocytes exposed to different concentrations of insulin-like growth factor 1 (IGF-1)

Концентрация IGF-1, нг/мл	Число независимых экспериментов, n	Число ОКК, n	Доля ооцитов с ППТ, %
0 (контроль)	4	90	74,4 ± 3,9
5	4	87	83,7 ± 1,8
10	4	88	82,0 ± 2,2
20	4	91	78,9 ± 3,3
40	4	88	79,5 ± 1,3
80	4	86	75,1 ± 5,5

Примечание: ОКК — ооцит-кумулюсные комплексы; ППТ — первое полярное тельце.

(М) и стандартные ошибки средних ($\pm$ SEM). Достоверность различий сравниваемых средних значений оценивали с использованием критерия Тьюки ($p \leq 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты оценки уровня созревания ооцитов после их культивирования в отсутствие (контроль) и присутствии различных концентраций IGF-1 представлены в таблице 1.

Доля ооцитов с ППТ (рис. 1А), а следовательно, созревших и достигших стадии МII, к исходному числу ОКК существенно не различалась между экспериментальными группами, свидетельствуя об отсутствии влияния исследуемого фактора на процесс. Вместе с тем наименьшее значение ($74,4 \pm 3,9\%$) этого показателя наблюдали в контрольной группе, а наибольшее ($83,7 \pm 1,8\%$) — при добавлении в среду IVМ IGF-1 в концентрации 5 нг/мл.

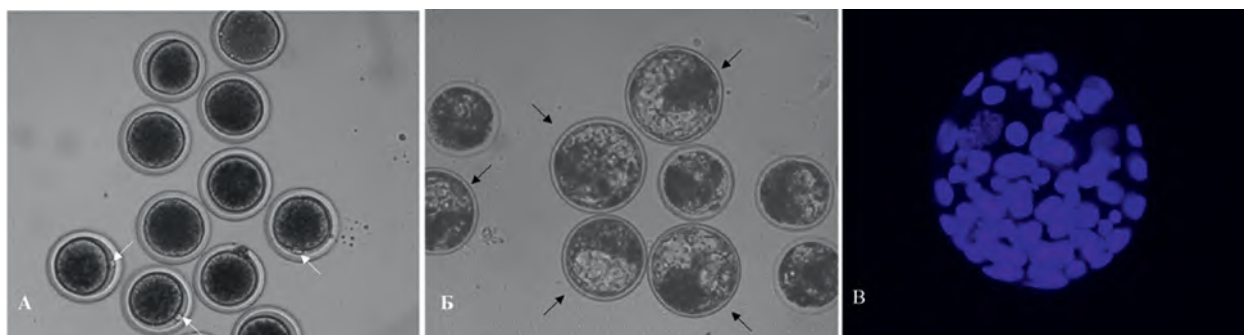
Для оценки долгосрочного влияния IGF-1 в период созревания ооцитов *in vitro* половые клетки, в которых было визуализировано ППТ

Рис. 1. Микрофотографии ооцитов и партеногенетических эмбрионов коров

Примечание: А — созревшие ооциты (белой стрелкой обозначены первые полярные тельца); Б — 7-дневные эмбрионы (черной стрелкой обозначены бластоцисты); В — окраска ядер в бластоцисте (синий цвет), цитологический препарат. Микроскоп Eclipse Ti-U (Nikon, Япония): А и Б — увеличение $\times 100$, В — увеличение $\times 200$.

Fig. 1. Micrographs of oocytes and parthenogenetic embryos of cows

Note: A is a mature oocyte (the white arrow indicates the first polar corpuscles); B is 7-day-old embryos (the black arrow indicates blastocysts); C is the color of the nuclei in the blastocyst (blue), cytological preparation. The Eclipse Ti-U microscope (Nikon, Japan): A and B are $\times 100$ magnification, C are $\times 200$ magnification.



(рис. 1А), подвергали искусственной активации. Результаты эмбрионального развития представлены на рисунке 2.

Доля дробления созревших ооцитов (рис. 2А) в контроле — $72,9 \pm 1,7\%$. Введение IGF-1 в среду IVM существенно не меняло ее значения: для концентраций 5, 10, 20, 40 и 80 нг/мл этот показатель составил, соответственно, $73,9 \pm 2,4$, $73,5 \pm 7,4$, $80,7 \pm 7,2$, $73,3 \pm 5,3$, $68,1 \pm 1,4\%$. В то же время для созревших *in vitro* ооцитов коров обнаружено зависящее от концентрации влияние IGF-1 на развитие до стадии бластоцисты (рис. 2Б). В контроле выход бластоцист на 7-й день культивирования (рис. 1В) активированных клеток составлял $17,3 \pm 1,6\%$. Присутствие в среде созревания IGF-1 в концентрациях 5, 10 и 20 нг/мл повышало этот показатель, соответственно, до $29,9 \pm 4,5$, $30,7 \pm 3,6$ и $29,6 \pm 2,3\%$ ($p < 0,05$).

С увеличением количества фактора до 80 нг/мл наблюдаемый относительно контроля позитивный эффект нивелировался, доля развития бластоцист находилась на уровне $14,6 \pm 3,0\%$ и была достоверно ниже, чем в группах 5, 10 и 20 нг/мл ($p < 0,05$). В исследуемых концентрациях IGF-1 не повлиял на качество эмбрионов на стадии бластоцисты, которое оценивали по числу ядер на 7-е сутки после активации.

Согласно результатам цитологического анализа (рис. 3), этот показатель между сравниваемыми группами значимо не изменялся, количество ядер (рис. 1В) в эмбрионах соответствовало исследуемой стадии развития.

Положительное влияние IGF-1 на созревание ооцитов выявлено у различных видов млекопитающих, включая сельскохозяйственных животных. Концентрации, при которых этот эффект наблюдается, варьируют от 20 до 100 нг/мл [9].

У крупного рогатого скота для стимулирования ядерного созревания и эмбрионального развития ооцитов IGF-1 к среде IVM добавляют как в концентрации 50 нг/мл [16], так и 100 нг/мл [9, 17], а в сочетании с другими ростовыми факторами и в более низких количествах (20 нг/мл) [18]. При этом при одинаковой концентрации IGF-1 в одном случае [17] сообщается о его положительном влиянии на завершение ядерного созревания, в другом — нет [9].

Рис. 2. Партеногенетическое развитие ооцитов коров, созревающих *in vitro* при воздействии различных концентраций IGF-1

Примечание: А — дробление искусственно активированных ооцитов; Б — развитие искусственно активированных ооцитов до стадии бластоцисты. Средние значения для одной группы, помеченные разными буквами, статистически достоверно различаются при $p < 0,05$.

Fig. 2. Parthenogenetic development of cow oocytes maturing *in vitro* under the influence of various concentrations of IGF-1

Note: A — cleavage of artificially activated oocytes; B — development of artificially activated oocytes to the blastocyst stage. The average values for one group, marked with different letters, differ statistically significantly at $p < 0.05$.

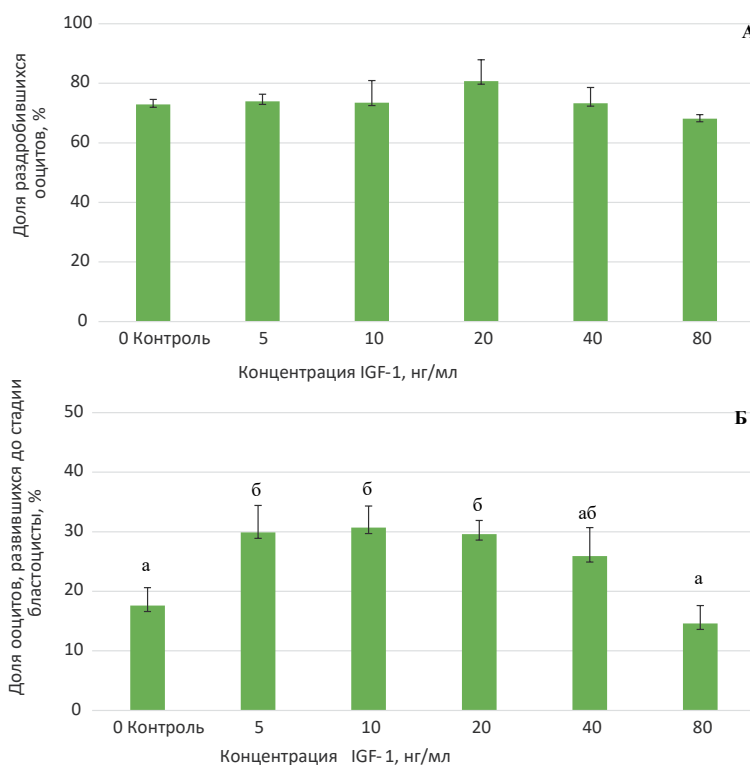
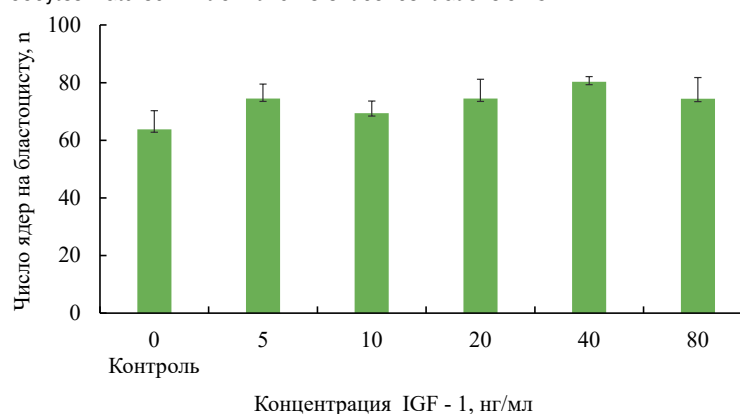


Рис. 3. Качество эмбрионов, полученных после партеногенетической активации ооцитов коров, созревающих *in vitro* при воздействии различных концентраций IGF-1

Fig. 3. Quality of embryos obtained after parthenogenetic activation of bovine oocytes matured *in vitro* with different concentrations of IGF-1



Результаты настоящего исследования в целом подтвердили, что положительное влияние IGF-1 в среде созревания ооцитов коров носит долгосрочный характер и связано преимущественно с цитоплазматическими, а не ядерными изменениями в яйцеклетках. IGF-1 не оказывал влияния на долю ооцитов с ППТ, однако способствовал повышению выхода бластоцист после их партеногенетической активации.

Примечательно, что выявленный эффект IGF-1, в отличие от данных других исследований [18], был достигнут при более низких концентрациях, значения которых были сопоставимы с теми, что использовались в комбинации с другими ростовыми факторами.

Выводы/Conclusions

Таким образом, IGF-1 в среде *in vitro* созревания оказывает стимулирующее влияние на компетентность ооцитов коров к последующему эмбриональному развитию, приводя к увеличению образования бластоцист после партеногенетической активации. Позитивный эффект этого фактора на долю развития созревших и

активированных ооцитов до стадии бластоцисты зависит от его концентрации, которая применительно к используемым условиям культивирования варьирует от 5 до 20 нг. В контроле данный показатель составлял $17,3 \pm 1,6\%$, в то время как присутствие в среде созревания IGF-1 в концентрациях 5, 10 и 20 нг/мл повышало его, соответственно, до $29,9 \pm 4,5$, $30,7 \pm 3,6$ и $29,6 \pm 2,3\%$. Следовательно, в этих концентрациях IGF-1 может быть рекомендован для *in vitro* созревания ооцитов коров. Однако полученные данные являются предварительными, и требуется проведение дополнительных исследований в направлении расширения исследуемых показателей.

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 Российского научного фонда (проект № 24-16-00261).

FUNDING

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 24-16-00261).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Menchaca A. Assisted Reproductive Technologies (ART) and genome editing to support a sustainable livestock. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230074. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0074>
2. Mikkola M., Desmet K.L.J., Kommisrud E., Riegler M.A. Recent advancements to increase success in assisted reproductive technologies in cattle. *Animal Reproduction*. 2024; 21(3): e20240031. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0031>
3. Чинаров Р.Ю., Луканина В.А., Сингина Г.Н., Шедова Е.Н. Результативность получения ооцитов при проведении повторной серии трансвагинальной УЗИ-ассистированной пункции фолликулов у телок симментальской породы. *Аграрная наука*. 2024; (9): 65–70. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-65-70>
4. Chandra V., Sharma G.T. *in vitro* strategies to enhance oocyte developmental competence. *Frontiers in Bioscience (Scholar edition)*. 2020; 12(1): 116–136. <https://doi.org/10.2741/S543>
5. Dalbies-Tran R. *et al.* A Comparative Analysis of Oocyte Development in Mammals. *Cells*. 2020; 9(4): 1002. <https://doi.org/10.3390/cells9041002>
6. Mazerbourg S., Bondy C.A., Zhou J., Monget P. The Insulin-like Growth Factor System: a Key Determinant Role in the Growth and Selection of Ovarian Follicles? A Comparative Species Study. *Reproduction in Domestic Animal*. 2003; 38(4): 247–258. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2003.00440.x>
7. Carrillo-Gonzalez D.F., Hernández-Herrera D.Y., Medina-Montes A.F., Otero-Arroyo R. Effect of the addition of IGF-1 during *in vitro* culture on the embryonic development speed from different crossbreed bovine embryos. *Tropical Animal Health and Production*. 2024; 56(8): 368. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04204-7>
8. Nuttinck F. *et al.* Expression of components of the insulin-like growth factor system and gonadotropin receptors in bovine cumulus-oocyte complexes during oocyte maturation. *Domestic Animal Endocrinology*. 2004; 27(2): 179–195. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2004.03.003>
9. Araujo M.S. *et al.* Molecular and cellular effects of insulin-like growth factor-1 and LongR3-IGF-1 on *in vitro* maturation of bovine oocytes: comparative study. *Growth Hormone & IGF Research*. 2020; 55: 101357. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2020.101357>
10. Alhaider A.K. Insulin-like growth factor-1 improves *in vitro* meiotic resumption of dromedary camel (*Camelus Dromedarius*) oocytes. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20220105. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2022-0105>
11. Kordowitzki P., Krajnik K., Skowronska A., Skowronski M.T. Pleiotropic Effects of IGF1 on the Oocyte. *Cells*. 2022; 11(10): 1610. <https://doi.org/10.3390/cells11101610>

REFERENCES

1. Menchaca A. Assisted Reproductive Technologies (ART) and genome editing to support a sustainable livestock. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230074. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0074>
2. Mikkola M., Desmet K.L.J., Kommisrud E., Riegler M.A. Recent advancements to increase success in assisted reproductive technologies in cattle. *Animal Reproduction*. 2024; 21(3): e20240031. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0031>
3. Chinarov R.Yu., Lukanina V.A., Singina G.N., Shedova E.N. Efficiency of oocytes retrieval during a repeated series of transvaginal ultrasound-guided puncture of follicles in Simmental heifers. *Agrarian science*. 2024; (9): 65–70 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-65-70>
4. Chandra V., Sharma G.T. *in vitro* strategies to enhance oocyte developmental competence. *Frontiers in Bioscience (Scholar edition)*. 2020; 12(1): 116–136. <https://doi.org/10.2741/S543>
5. Dalbies-Tran R. *et al.* A Comparative Analysis of Oocyte Development in Mammals. *Cells*. 2020; 9(4): 1002. <https://doi.org/10.3390/cells9041002>
6. Mazerbourg S., Bondy C.A., Zhou J., Monget P. The Insulin-like Growth Factor System: a Key Determinant Role in the Growth and Selection of Ovarian Follicles? A Comparative Species Study. *Reproduction in Domestic Animal*. 2003; 38(4): 247–258. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2003.00440.x>
7. Carrillo-Gonzalez D.F., Hernández-Herrera D.Y., Medina-Montes A.F., Otero-Arroyo R. Effect of the addition of IGF-1 during *in vitro* culture on the embryonic development speed from different crossbreed bovine embryos. *Tropical Animal Health and Production*. 2024; 56(8): 368. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04204-7>
8. Nuttinck F. *et al.* Expression of components of the insulin-like growth factor system and gonadotropin receptors in bovine cumulus-oocyte complexes during oocyte maturation. *Domestic Animal Endocrinology*. 2004; 27(2): 179–195. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2004.03.003>
9. Araujo M.S. *et al.* Molecular and cellular effects of insulin-like growth factor-1 and LongR3-IGF-1 on *in vitro* maturation of bovine oocytes: comparative study. *Growth Hormone & IGF Research*. 2020; 55: 101357. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2020.101357>
10. Alhaider A.K. Insulin-like growth factor-1 improves *in vitro* meiotic resumption of dromedary camel (*Camelus Dromedarius*) oocytes. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20220105. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2022-0105>
11. Kordowitzki P., Krajnik K., Skowronska A., Skowronski M.T. Pleiotropic Effects of IGF1 on the Oocyte. *Cells*. 2022; 11(10): 1610. <https://doi.org/10.3390/cells11101610>

12. Шедова Е.Н., Сингина Г.Н., Узбекова С., Узбеков Р., Луканина В.А., Цындрина Е.В. Влияние внеклеточных везикул фолликулярного происхождения в среде созревания на способность ооцитов коров к эмбриональному развитию *in vitro* после старения и экстракорпорального оплодотворения. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(6): 1178–1187. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1178rus>
13. Holubcová Z., Kyjovská D., Martonová M., Páralová D., Klenková T., Kloudová S. Human Egg Maturity Assessment and Its Clinical Application. *Journal of Visualized Experiments*. 2019; 150: e60058. <https://doi.org/10.3791/60058>
14. Rosenkrans C.F.Jr., First N.L. Effect of free amino acids and vitamins on cleavage and development rate of bovine zygotes *in vitro*. *Journal of Animal Science*. 1994; 72(2): 434–437. <https://doi.org/10.2527/1994.722434x>
15. Сингина Г.Н., Лопухов А.В., Шедова Е.Н., Жукова А.С. Влияние условий подготовки ооцитов и донорских клеток на эффективность соматического клонирования у домашней овцы (*Ovis aries* L.). *Сельскохозяйственная биология*. 2024; 59(4): 692–703. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.692rus>
16. Herrler A., Lucas-Hahn A., Niemann H. Effects of insulin-like growth factor-I on *in vitro* production of bovine embryos. *Theriogenology*. 1992; 37(6): 1213–1224. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(92\)90177-S](https://doi.org/10.1016/0093-691X(92)90177-S)
17. Lorenzo P.L., Illera M.J., Illera J.C., Illera M. Enhancement of cumulus expansion and nuclear maturation during bovine oocyte maturation *in vitro* by the addition of epidermal growth factor and insulin-like growth factor I. *Journal of Reproduction and Fertility*. 1994; 101(3): 697–701. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1010697>
18. Stoecklein K.S., Garcia-Guerra A., Duran B.J., Prather R.S., Ortega M.S. Actions of FGF2, LIF, and IGF1 on bovine embryo survival and conceptus elongation following slow-rate freezing. *Frontiers in Animal Science*. 2022; 3: 1040064. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1040064>

ОБ АВТОРАХ

Галина Николаевна Сингина

кандидат биологических наук, заведующая лабораторией эмбриональных технологий
g_singina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0198-9757>

Екатерина Николаевна Шедова

научный сотрудник
shedvek@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9642-2384>

Александр Викторович Лопухов

научный сотрудник
vubi_myaso@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1284-1486>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

12. Shedova E.N., Singina G.N., Uzbekova S., Uzbekov R., Lukanina V.A., Tsyndrina E.V. Effect of extracellular vesicles of follicular origin during *in vitro* maturation and ageing of bovine oocytes on embryo development after *in vitro* fertilization. *Agricultural Biology*. 2022; 57(6): 1178–1187. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1178eng>

13. Holubcová Z., Kyjovská D., Martonová M., Páralová D., Klenková T., Kloudová S. Human Egg Maturity Assessment and Its Clinical Application. *Journal of Visualized Experiments*. 2019; 150: e60058. <https://doi.org/10.3791/60058>

14. Rosenkrans C.F.Jr., First N.L. Effect of free amino acids and vitamins on cleavage and development rate of bovine zygotes *in vitro*. *Journal of Animal Science*. 1994; 72(2): 434–437. <https://doi.org/10.2527/1994.722434x>

15. Singina G.N., Lopukhov A.V., Shedova E.N., Zhukova A.S. The influence of oocyte and donor cell preparation conditions on the efficiency of somatic cloning in sheep (*Ovis aries* L.). *Agricultural Biology*. 2024; 59(4): 692–703. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.692eng>

16. Herrler A., Lucas-Hahn A., Niemann H. Effects of insulin-like growth factor-I on *in vitro* production of bovine embryos. *Theriogenology*. 1992; 37(6): 1213–1224. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(92\)90177-S](https://doi.org/10.1016/0093-691X(92)90177-S)

17. Lorenzo P.L., Illera M.J., Illera J.C., Illera M. Enhancement of cumulus expansion and nuclear maturation during bovine oocyte maturation *in vitro* by the addition of epidermal growth factor and insulin-like growth factor I. *Journal of Reproduction and Fertility*. 1994; 101(3): 697–701. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1010697>

18. Stoecklein K.S., Garcia-Guerra A., Duran B.J., Prather R.S., Ortega M.S. Actions of FGF2, LIF, and IGF1 on bovine embryo survival and conceptus elongation following slow-rate freezing. *Frontiers in Animal Science*. 2022; 3: 1040064. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1040064>

ABOUT THE AUTHORS

Galina Nikolaevna Singina

Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Embryonic Technologies
g_singina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0198-9757>

Ekaterina Nikolaevna Shedova

Research Associate
shedvek@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9642-2384>

Alexander Viktorovich Lopukhov

Research Associate
vubi_myaso@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1284-1486>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia

В.Р. Харзинова ✉

А.М. Цыб

А.С. Абдельманова

Н.Ф. Бакоев

Н.А. Чурбакова

Н.А. Зиновьева

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ
им. академика Л.К. Эрнста,
Дубровицы, Московская обл., Россия

✉ veronika0784@mail.ru

Поступила в редакцию: 30.05.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Харзинова В.Р., Цыб А.М.,
Абдельманова А.С., Бакоев Н.Ф.,
Чурбакова Н.А., Зиновьева Н.А.

Veronika R. Kharzinova ✉

Anton M. Tsyb

Alexandra S. Abdelmanova

Nekruz F. Bakoev

Nadezhda A. Churbakova

Natalia A. Zinovieva

Federal Research Center for Animal
Husbandry named after Academy
Member L.K. Ernst, Dubrovitsy,
Moscow Region, Russia

✉ veronika0784@mail.ru

Received by the editorial office: 30.05.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Kharzinova V.R., Tsyb A.M.,
Abdelmanova A.S., Bakoev N.F.,
Churbakova N.A., Zinovieva N.A.

Характеристика генетической структуры и разнообразия российской популяции свиней венгерской породы мангалица на основе полногеномного SNP-генотипирования

РЕЗЮМЕ

Современное промышленное свиноводство основано на высокопродуктивных породах, однако глобализация селекции снизила генетическое разнообразие, повысив уязвимость отрасли. В этом контексте аборигенные породы, такие как мангалица, представляют ценность благодаря уникальным адаптивным и продуктивным качествам. Ранее проведенные генетические исследования данной породы ограничивались микросателлитными и митохондриальными маркерами. Однако в условиях развития современных геномных технологий особую актуальность имеет применение SNP-анализа. В данной работе впервые применен SNP-анализ для оценки генетического разнообразия российской популяции мангалицы в сравнении с венгерской популяцией и коммерческими породами (дюрок, крупная белая, ландрас), а также дикими кабанами. Полученные результаты показали, что российская популяция мангалицы сохраняет высокую генетическую изменчивость ($H_o = 0,337 \pm 0,001$, $A_r = 1,952 \pm 0,001$), превышающую показатели исходной венгерской группы ($H_o = 0,218 \pm 0,001$). PCA-анализ подтвердил близость российской и венгерской популяций мангалицы, а также отсутствие гибридизации с коммерческими породами. Кластерный анализ выявил генетический компонент дикого кабана, что соответствует истории формирования породы. Российская популяция мангалицы генетически соответствует венгерской и может служить ценным ресурсом для селекции, особенно в условиях адаптации к низким температурам. Полученные данные важны для сохранения биоразнообразия и развития специализированного свиноводства.

Ключевые слова: кабаны, свиньи, локальные породы, генетическое разнообразие, мангалица, SNP-генотипирование

Для цитирования: Харзинова В.Р., Цыб А.М., Абдельманова А.С., Бакоев Н.Ф., Чурбакова Н.А., Зиновьева Н.А. Характеристика генетической структуры и разнообразия российской популяции свиней венгерской породы мангалица на основе полногеномного SNP-генотипирования. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 99–105.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-99-105>

Characterization of genetic structure and diversity of the Russian population of Hungarian Mangalica pigs based on whole-genome SNP genotyping

ABSTRACT

Modern industrial pig farming is based on highly productive breeds, however the globalization of breeding has reduced genetic diversity, increasing the vulnerability of the industry. In this context, native breeds such as the Hungarian Mangalitsa are valuable due to their unique adaptive and productive qualities. Previous genetic studies of this breed were limited to microsatellite and mitochondrial markers. However, in the context of the development of modern genomic technologies, the use of SNP analysis is of particular relevance. This study is the first to use SNP analysis to assess the genetic diversity of the Russian Mangalitsa population in comparison with the Hungarian population and commercial breeds (Duroc, Large White, Landrace), as well as wild boar. The obtained results showed that the Russian population of Mangalitsa retains high genetic variability ($H_o = 0,337 \pm 0,001$, $A_r = 1,952 \pm 0,001$), exceeding the indicators of the original Hungarian group ($H_o = 0,218 \pm 0,001$). PCA analysis confirmed the closeness of Russian and Hungarian Mangalitsa, as well as the absence of hybridization with commercial breeds. Cluster analysis revealed a genetic component of wild boar, which corresponds to the history of the breed formation. The Russian population of Mangalitsa is genetically similar to the Hungarian one and can serve as a valuable resource for selection, especially in conditions of adaptation to low temperatures. The data obtained are important for the conservation of biodiversity and the development of specialized pig breeding.

Key words: wild boars, pigs, local breeds, genetic diversity, Mangalica, SNP genotyping

For citation: Kharzinova V.R., Tsyb A.M., Abdelmanova A.S., Bakoev N.F., Churbakova N.A., Zinovieva N.A. Characterization of genetic structure and diversity of the Russian population of Hungarian Mangalica pigs based on whole-genome SNP genotyping. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 99–105 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-99-105>

Введение/Introduction

Современное промышленное свиноводство в значительной степени ориентировано на использование высокопродуктивных пород, таких как крупная белая, ландрас, дюрок и йоркшир, которые характеризуются интенсивным ростом, высокой конверсией корма и оптимальными мясными качествами [1]. Однако глобализация селекционного процесса привела к существенному сокращению генетического разнообразия, что повышает уязвимость отрасли к биологическим и экологическим рискам. В этом контексте аборигенные породы, в частности мангалица, представляют особый интерес как носители уникальных адаптивных и продуктивных характеристик.

Мангалица (венг. *Magyar mangalica*) — это уникальная курдючная порода свиней с густой шерстью, напоминающей овечью. Ее история выведения тесно связана с Венгрией и климатическими условиями Центральной Европы. Мангалица происходит от скрещивания местных венгерских свиней с сербской породой *Šumadija*, привезенной в Венгрию в начале XIX века. В формировании породы участвовали и дикие кабаны, что объясняет ее выносливость и густую шерсть [2].

Порода отличалась выраженной сальной продуктивностью, что делало ее важным источником животного жира. Высококачественное сало находило применение как в пищевой промышленности, так и в технических целях. Благодаря выраженной сезонной адаптации, включающей развитие густого шерстного покрова и подкожной жировой клетчатки, особи демонстрировали высокую резистентность к низким температурам. Это позволяло осуществлять круглогодичное пастбищное содержание даже в условиях континентального климата. К концу XIX века мангалица стала одной из самых распространенных пород в Венгрии и Австро-Венгрии [3, 4].

В Россию завезена в 1980-х годах и приобрела популярность среди частных хозяйств за счет своих биологических качеств (выраженной способности к аккумуляции подкожного жира (толщина шпика до 10–12 см), повышенной устойчивости к стрессовым факторам и заболеваниям), а также исключительных органолептических свойств продукции. Однако именно эти характеристики обусловили ограниченное использование породы в промышленном свиноводстве.

Основным сдерживающим фактором служит экономическая нецелесообразность производства, обусловленная значительно более длительным периодом откорма по сравнению с коммерческими породами (10–12 месяцев против 6–7) и, соответственно, более высокой себестоимостью конечной продукции. Кроме того, преобладание жирного типа продуктивности у мангалицы не соответствует современным рыночным стандартам, ориентированным на производство постной

свинины. Существенным ограничением является и недостаточное внимание к системной селекционной работе, направленной на улучшение мясных качеств при сохранении уникальных породных характеристик¹.

В последние годы наблюдается возрождение интереса к мангалице как к ценному генетическому ресурсу. Эта порода рассматривается как потенциальный источник полезных аллелей для улучшения адаптивных качеств коммерческих пород, включая стрессоустойчивость и иммунный статус. Особые перспективы связаны с производством специализированной и органической продукции премиального сегмента, а также с программами сохранения биоразнообразия в животноводстве [5].

На сегодняшний день проведено множество генетических исследований с использованием микросателлитных маркеров ядерной ДНК, а также секвенирования митохондриального генома, позволивших установить основные закономерности генетического разнообразия данной породы. Однако в условиях развития современных геномных технологий особую актуальность приобретает применение SNP-анализа (Single Nucleotide Polymorphism), который позволяет получить более детализированную информацию о генетической структуре [2, 5].

Микрочиповые технологии SNP-генотипирования, обладают высокой пропускной способностью и точностью детекции аллельных вариантов. Применение этой технологии генотипирования позволяет не только идентифицировать породоспецифичные генетические маркеры, но и проводить комплексный анализ аллелофонда по локусам, ассоциированным с ключевыми адаптивными и продуктивными признаками. Это открывает новые возможности для разработки научно обоснованных стратегий рационального использования генетических ресурсов венгерской мангалицы [6, 7].

На территории Российской Федерации мангалица разводится на протяжении 40 лет, преимущественно в личных подсобных хозяйствах, где отсутствует системный селекционно-племенной учет поголовья, а процесс разведения может носить неконтролируемый характер. В связи с этим актуальны исследование генетической структуры данной породы в России и оценка степени ее отклонения от исходного генофонда².

Цели настоящего исследования — оценка генетического разнообразия и анализ генетической структуры популяции свиней породы мангалица, разводимой на территории Российской Федерации, с использованием полногеномного анализа.

В рамках работы были поставлены следующие задачи: анализ сохранения в исследуемой популяции предковых генетических компонентов, характерных для венгерской мангалицы; определение степени генетической дифференциации между российской и венгерской популяциями.

¹ Венгерская мангалица: плюсы и минусы породы. URL: <https://vusadebke.com/fermerstvo/ghivotnovodstvo/svinyi/vengerskaya-mangalica.html/>

² Венгерская мангалица. URL: <https://selo-exp.com/svinii/vengerskaya-mangalica.html/>

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Материалом для исследований послужили биологические образцы (ушной выщип) свиней породы мангалица и данные SNP-генотипирования коммерческих пород (ландраса, крупной белой, дюрка), а также дикого кабана российской популяции, депонированных в «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 (Россия).

Исследуемая выборка включала животных из генетического банка ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста: мангалица ($n = 48$), SNP-генотипы промышленных свиней пород дюрка ($n = 50$), крупная белая ($n = 53$), ландрас ($n = 50$), в том числе генотипы диких кабанов России ($n = 58$). В качестве групп сравнения для статистического анализа в исследовании использованы данные SNP-генотипирования мангалицы ($n = 20$), диких кабанов Балканского полуострова ($n = 92$), диких кабанов северной и центральной части Европы ($n = 27$), загруженные из открытых источников [8–10].

Геномную ДНК выделяли с помощью коммерческого набора «ДНК-Экстрем-2» (ООО «Синтол», Россия) в соответствии с протоколом производителя. Для измерения концентрации двухцепочечной ДНК использовали флуориметр Qubit 3.0 (Thermo Fisher Scientific, Wilmington, DE, USA). Чистоту ДНК определяли на спектрофотометре NanoDrop2000 (Thermo Fisher Scientific, Wilmington, DE, USA), оценивая коэффициент поглощения A260/A280. Концентрация ДНК в среднем составила 103,42 нг/мкл. Всего 48 образцов ДНК венгерской мангалицы были генотипированы с использованием ДНК-чипа Illumina BeadChip Array 24 x 1 Infinium HD iSelect INF Porcine 80K. Качество SNP-генотипирования образцов мангалицы оценивали с применением программного обеспечения PLINK v1.90 [11], где в качестве критериев

приемлемости использовали минимальные значения показателей GenCall и GenTrain, установленные на уровне 0, 5.

На основании данных SNP-генотипирования были рассчитаны основные внутрипопуляционные генетические параметры выборок свиней, включая наблюдаемую (H_o), несмещенную ожидаемую гетерозиготность (H_e), несмещенный коэффициент инбридинга (F_{is}) на основе несмещенной ожидаемой гетерозиготности, а также показатель аллельного разнообразия, скорректированный на размер выборки (A_r).

Характеристика генетического разнообразия венгерской мангалицы включала комплексный анализ с применением двух взаимодополняющих методов. Метод главных компонент (PCA) использовали для визуализации генетической дифференциации, тогда как алгоритм ADMIXTURE применяли для детального изучения генетической структуры через определение пропорций предковых компонентов. Ряд значений K находился в диапазоне от 1 до 8 (по числу исследуемых групп).

Статистическую обработку и визуализацию данных проводили в программной среде R 3.5.0³ с использованием дополнительных R-пакетов (diveRcity, pophelper, ggplot2) и статистически программного продукта ADMIXTURE v1.3.0 [12–15].

При выполнении исследований использовали оборудование ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ параметров генетического разнообразия популяции венгерской мангалицы, разводимой в России, в сравнительном аспекте с другими группами свиней и дикого кабана представлен в таблице 1.

Популяция MANG демонстрирует относительно высокие показатели генетического разнообразия: наблюдаемая гетерозиготность (H_o)

Таблица 1. Показатели генетического разнообразия российской популяции свиней породы мангалица на основе полногеномного SNP генотипирования

Table 1. Genetic diversity indicators of the Russian population of mangalica pigs based on genome-wide SNP genotyping

Порода (популяция)	n	H_o	A_r	H_e	F_{is}
DU	50	0,315 ± 0,001	1,866 ± 0,002	0,310 ± 0,001	-0,016 [-0,018; -0,014]
LN	50	0,362 ± 0,001	1,944 ± 0,002	0,351 ± 0,001	-0,027 [-0,029; -0,025]
LW	53	0,340 ± 0,001	1,908 ± 0,002	0,328 ± 0,001	-0,030 [-0,032; -0,028]
MANG	48	0,337 ± 0,001	1,952 ± 0,001	0,346 ± 0,001	0,024 [0,021; 0,027]
HUMA	20	0,218 ± 0,001	1,799 ± 0,003	0,272 ± 0,001	0,174 [0,169; 0,179]
WB_Balkans	92	0,320 ± 0,001	1,982 ± 0,001	0,365 ± 0,001	0,118 [0,116; 0,12]
WB_Nothern_and_Central_Europe	27	0,323 ± 0,001	1,970 ± 0,001	0,360 ± 0,001	0,096 [0,092; 0,1]
WB_RUS	58	0,364 ± 0,001	1,992 ± 0,000	0,382 ± 0,001	0,048 [0,046; 0,05]

Примечание: DU — дюрка, LN — ландрас, LW — крупная белая, MANG — мангалица (российская популяция), HUMA — мангалица, WB_Balkans — дикие кабаны Балканского полуострова, WB_Nothern_and_Central_Europe — дикие кабаны Северной и Центральной Европы, WB_RUS — дикие кабаны России, n — количество образцов, H_o — наблюдаемая гетерозиготность, A_r — аллельное разнообразие, H_e — несмещенная ожидаемая гетерозиготность, F_{is} — несмещенный коэффициент инбридинга (доверительный интервал 95%).

³ Core Team. A language and environment for statistical computing. Foundation for statistical computing. Vienna, Austria. 2012. URL: <http://www.Rproject.org/>

достоверно ($p < 0,05$) выше по сравнению с некоторыми популяциями домашних свиней (HUMA и DU, $H_o = 0,218 \pm 0,001$ и $H_o = 0,315 \pm 0,001$ соответственно) и диких кабанов (WB_Balkans и WB_Nothen_and_Central_Europe, $H_o = 0,320 \pm 0,001$ и $H_o = 0,323 \pm 0,001$ соответственно), что свидетельствует о сохранении генетического потенциала. Аллельное разнообразие ($A_R = 1,952 \pm 0,001$) значимо ($p < 0,05$) превышает показатели других пород, однако уступает аналогичному показателю у диких популяций.

Значения показателей наблюдаемой гетерозиготности, несмещенной ожидаемой гетерозиготности и аллельного разнообразия у MANG достоверно ($p < 0,05$) выше, чем у исходной венгерской популяции (HUMA: $H_o = 0,218 \pm 0,001$; $H_e = 0,265 \pm 0,001$; $A_R = 1,799 \pm 0,003$), что может указывать на эффект гибридизации или меньший уровень инбридинга в российской популяции.

Положительный коэффициент инбридинга ($uFis = 0,024 [0,021; 0,027]$) у MANG указывает на некоторый дефицит гетерозигот, характерный для изолированных популяций. У венгерской популяции HUMA выявлен максимальный уровень дефицита гетерозигот среди всех исследуемых групп ($uFis = 0,174 [0,169; 0,179]$). Стоит отметить, что у всех популяций кабана наблюдался дефицит гетерозигот, в то время как в промышленных породах выявлен избыток гетерозиготности, что может быть результатом линейного разведения с последующей гибридизацией.

На рисунке 1 представлены результаты анализа главных компонент (PCA) российской популяции венгерской мангалицы в сравнении с другими породами свиней и популяциями дикого кабана.

Как видно на рисунке 1, первая компонента, отвечающая за 36,24% генетической изменчивости, отделила промышленные породы свиней от популяций мангалицы с представителями диких кабанов.

Две популяции мангалицы образовали перекрывающийся кластер, хорошо дифференцированный от остальных групп. Образцы трех промышленных пород (LW, LN и DU) сформировали консолидированные породоспецифичные кластеры, что объясняется высоким уровнем селекционного давления в каждой из пород.

Образцы кабанов из Северной и Центральной Европы и Балкан образовали единый кластер, частично перекрывающийся с образцами российской популяции кабанов. Это объясняется единым генетическим фоном для кабанов европейской части континента, с одной стороны, и начинающейся генетической дифференциацией российской популяции от европейских за счет уменьшения миграций — с другой.

Результаты анализа генетической структуры для исследованных групп свиней и дикого кабана, реализованной в программе ADMIXTURE, представлены на рисунке 2.

Как показано на рисунке 2, при $K = 2$ домашние свиньи четко дифференцировались от кабанов, при этом обе популяции мангалицы показали

Рис. 1. Анализ главных компонент (PCA) российской популяции свиней породы мангалица на основе полногеномного SNP ренотипирования, выполненный (А) для первой (PC1) и второй (PC2) главных компонент и (Б) для первой и третьей (PC3) главных компонент

Примечание: WB_Nothen_and_Central_Europe — дикие кабаны Северной и Центральной Европы, WB_Balkans — дикие кабаны Балканского полуострова, WB_RUS — дикие кабаны России, HUMA — мангалица, MANG — мангалица (российская популяция), DU — дюрок, LN — ландрас, LW — крупная белая.

Fig. 1. Analysis of the main components (PCA) of the Russian population of Mangalitsa pigs based on genome-wide SNP genotyping, performed (A) for the first (PC1) and second (PC2) main components and (B) for the first and third (PC3) main components

Note: WB_Nothen_and_Central_Europe — wild boars of Northern and Central Europe, WB_Balkans — wild boars of the Balkan Peninsula, WB_RUS — wild boars of Russia, HUMA — mangalica, MANG — mangalica (Russian population), DU — duroc, LN — landrace, LW — large white.

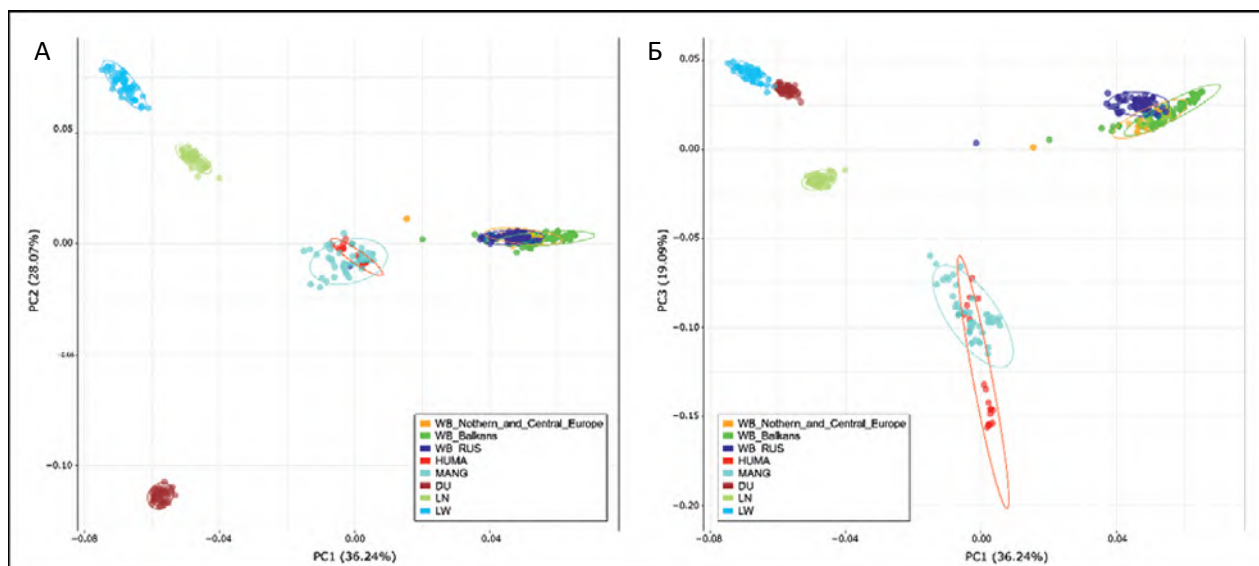
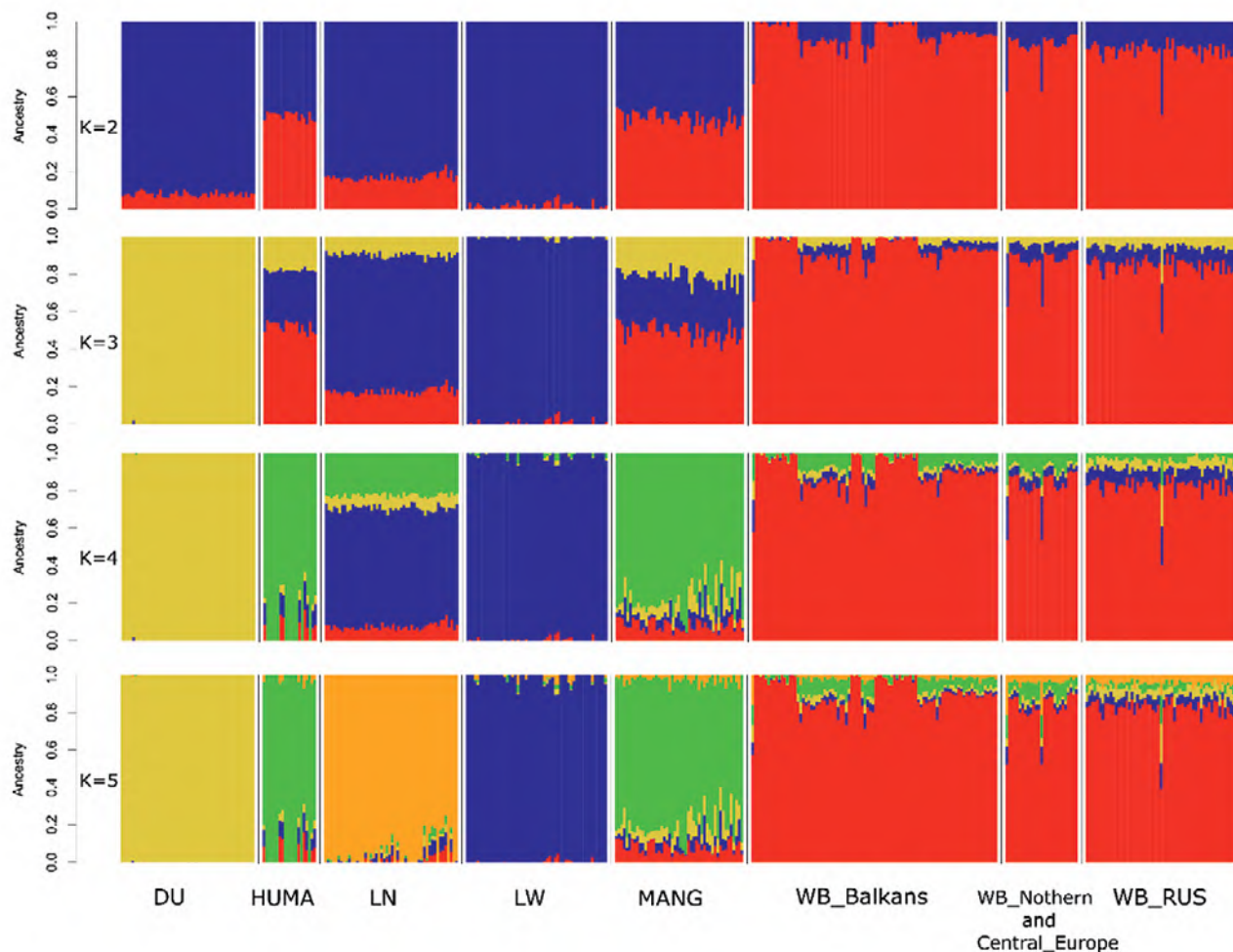


Рис. 2. Результаты кластерного анализа российской популяции свиней породы мангалица на основании полногеномного SNP генотипирования

Примечание: DU — дюркок, HUMA — мангалица, LN — ландрас, LW — крупная белая, MANG — мангалица (российская популяция), WB_Balkans — дикие кабаны Балканского полуострова, WB_Nothern_and_Central_Europe — дикие кабаны Северной и Центральной Европы, WB_RUS — дикие кабаны России.

Fig. 2. Results of cluster analysis of the Russian population of Mangalitsa pigs based on genome-wide SNP genotyping

Note: DU — duroc, HUMA — mangalica, LN — landrace, LW — large white, MANG — mangalica (Russian population), WB_Balkans — wild boars of the Balkan Peninsula, WB_Nothern_and_Central_Europe — wild boars of Northern and Central Europe, WB_RUS — wild boars of Russia.



некоторую примесь генетических компонентов дикого кабана.

При увеличении количества кластеров наблюдалось постепенное отделение породоспецифичных кластеров свиней: дюркок при $K = 3$, обе популяции мангалицы при $K = 4$, ландрас при $K = 5$. Интересно, что при увеличении количества кластеров (с 2 до 5) обе популяции мангалицы демонстрировали общие генетические компоненты, причем в российской популяции все образцы показали примеси генетических компонентов кабана, что не противоречит истории создания и развития породы.

Проведенные ранее исследования генетического разнообразия и структуры популяций свиней породы мангалица показали относительно высокий уровень инбридинга и консолидированность популяций, что может быть следствием малочисленности поголовья в породе [6].

В своем исследовании А.Т. Нгуен и соавт. подчеркивают, что малые субпопуляции мангалицы особенно подвержены генетическому дрейфу,

который может привести к значительным изменениям в генофонде популяции. Однако активный обмен животными между стадами способствует снижению генетической дифференциации и поддержанию породы. [2].

Потеря генетического разнообразия снижает адаптивный потенциал, делая животных менее приспособленными к изменениям окружающей среды и подверженными заболеваниям или стрессовым факторам.

Стоит отметить отдаленное сходство породы ландрас с обеими популяциями мангалицы при $K = 3$. Подобное распределение можно обосновать историей появления породы, где свиньи породы ландрас использовались в восстановлении мангалицы [16]. Однако мангалица по сей день остается генетически обособленной породой с уникальным генофондом.

Выводы/Conclusions

Генетический анализ популяционной структуры свидетельствует, что российская популяция

мангалицы, несмотря на более чем 40-летний период разведения в условиях подсобных хозяйств без системного селекционного контроля, сохранила выраженную генетическую идентичность с исходными породными генетическими компонентами.

Результаты кластерного анализа демонстрируют отсутствие интрогрессии генов коммерческих

промышленных пород, что подтверждает сохранение генофонда в исследуемой популяции.

Полученные данные имеют важное прикладное значение для разработки стратегий сохранения генетических ресурсов мангалицы и оптимизации программ селекции с учетом выявленных генетических особенностей, а также совершенствования методов генетического мониторинга породы.

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 поддержке РФФ, проект № 23-46-00014.

FUNDING

The research was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 23-46-00014.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлова С.В., Козлова Н.А., Мышкина М.С., Щавликова Т.Н. Генетический потенциал племенного свиноводства в настоящее время. *Эффективное животноводство*. 2021; (9): 81–83. <https://elibrary.ru/fwwdvc>
2. Nguyen A.T., Kövér G., Tóth P., Curik I., Bokor Á., Nagy I. Population Subdivision and Migration Assessment of Mangalica Pig Breeds Based on Pedigree Analysis. *Animals*. 2024; 14(4): 653. <https://doi.org/10.3390/ani14040653>
3. Полковникова В.И. Биологические, этологические особенности свиней породы венгерская мангалица. *Пермский аграрный вестник*. 2021; (1): 84–92. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_33_84
4. Roberts M.M., Perkins S.D., Anderson B.L., Sawyer J.T., Brandebourg T.D. Characterization of Growth Performance, Pork Quality, and Body Composition in Mangalica Pigs. *Foods*. 2023; 12(3): 554. <https://doi.org/10.3390/foods12030554>
5. Харзинова В.Р., Костюнина О.В., Карпушкина Т.В., Быкова О.А., Зиновьева Н.А. Изучение популяционной структуры и генетического разнообразия свиней породы венгерская мангалица на основе анализа микросателлитов. *Аграрный вестник Урала*. 2019; (7): 77–81. https://doi.org/10.32417/article_5d52b081b3e348.43320197
6. Addo S., Jung L. An insight into the runs of homozygosity distribution and breed differentiation in Mangalitsa pigs. *Frontiers in Genetics*. 2022; 13: 909986. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.909986>
7. Schachler K., Distl O., Metzger J. Tracing selection signatures in the pig genome gives evidence for selective pressures on a unique curly hair phenotype in Mangalitsa. *Scientific Reports*. 2020; 10: 22142. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79037-z>
8. Iacolina L. et al. Genomic diversity and differentiation of a managed island wild boar population. *Heredity*. 2016; 116(1): 60–67. <https://doi.org/10.1038/hdy.2015.70>
9. Yang B. et al. Genome-wide SNP data unveils the globalization of domesticated pigs. *Genetics Selection Evolution*. 2017; 49: 71. <https://doi.org/10.1186/s12711-017-0345-y>
10. Lukić B. et al. Conservation Genomic Analysis of the Croatian Indigenous Black Slavonian and Turpolje Pig Breeds. *Frontiers in Genetics*. 2020; 11: 261. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00261>
11. Purcell S. et al. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *American Journal of Human Genetics*. 2007; 81(3): 559–575. <https://doi.org/10.1086/519795>
12. Keenan K., McGinnity P., Cross T.F., Crozier W.W., Prodöhl P.A. diveRsity: an R package for the estimation and exploration of population genetics parameters and their associated errors. *Methods in Ecology and Evolution*. 2013; 4(8): 782–788. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12067>
13. Francis R.M. POPHELPER: an R package and web app to analyse and visualize population structure. *Molecular Ecology Resources*. 2017; 17(1): 27–32. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12509>
14. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Cham: Springer. 2016; XVI: 260. ISBN 978-3-319-24275-0. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>

REFERENCES

1. Pavlova S.V., Kozlova N.A., Myshkina M.S., Shchavlikova T.N. Genetic potential of breeding pigs at present. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2021; (9): 81–83 (in Russian). <https://elibrary.ru/fwwdvc>
2. Nguyen A.T., Kövér G., Tóth P., Curik I., Bokor Á., Nagy I. Population Subdivision and Migration Assessment of Mangalica Pig Breeds Based on Pedigree Analysis. *Animals*. 2024; 14(4): 653. <https://doi.org/10.3390/ani14040653>
3. Polkovnikova V.I. Biological, ethological features of the Hungarian Mangalica swine. *Perm Agrarian Journal*. 2021; (1): 84–92 (in Russian). https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_33_84
4. Roberts M.M., Perkins S.D., Anderson B.L., Sawyer J.T., Brandebourg T.D. Characterization of Growth Performance, Pork Quality, and Body Composition in Mangalica Pigs. *Foods*. 2023; 12(3): 554. <https://doi.org/10.3390/foods12030554>
5. Kharzinova V.R., Kostyunina O.V., Karpushkina T.V., Bykova O.A., Zinovieva N.A. The study of the population structure and genetic diversity of Hungarian Mangalica breed of pigs based on microsatellites analysis. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; (7): 77–81 (in Russian). https://doi.org/10.32417/article_5d52b081b3e348.43320197
6. Addo S., Jung L. An insight into the runs of homozygosity distribution and breed differentiation in Mangalitsa pigs. *Frontiers in Genetics*. 2022; 13: 909986. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.909986>
7. Schachler K., Distl O., Metzger J. Tracing selection signatures in the pig genome gives evidence for selective pressures on a unique curly hair phenotype in Mangalitsa. *Scientific Reports*. 2020; 10: 22142. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79037-z>
8. Iacolina L. et al. Genomic diversity and differentiation of a managed island wild boar population. *Heredity*. 2016; 116(1): 60–67. <https://doi.org/10.1038/hdy.2015.70>
9. Yang B. et al. Genome-wide SNP data unveils the globalization of domesticated pigs. *Genetics Selection Evolution*. 2017; 49: 71. <https://doi.org/10.1186/s12711-017-0345-y>
10. Lukić B. et al. Conservation Genomic Analysis of the Croatian Indigenous Black Slavonian and Turpolje Pig Breeds. *Frontiers in Genetics*. 2020; 11: 261. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00261>
11. Purcell S. et al. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *American Journal of Human Genetics*. 2007; 81(3): 559–575. <https://doi.org/10.1086/519795>
12. Keenan K., McGinnity P., Cross T.F., Crozier W.W., Prodöhl P.A. diveRsity: an R package for the estimation and exploration of population genetics parameters and their associated errors. *Methods in Ecology and Evolution*. 2013; 4(8): 782–788. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12067>
13. Francis R.M. POPHELPER: an R package and web app to analyse and visualize population structure. *Molecular Ecology Resources*. 2017; 17(1): 27–32. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12509>
14. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Cham: Springer. 2016; XVI: 260. ISBN 978-3-319-24275-0. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>

15. Alexander D.H., Novembre J., Lange K. Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. *Genome Research*. 2009; 19(9): 1655–1664.
<https://doi.org/10.1101/gr.094052.109>
16. Харзинова В.Р. и др. Генетическое разнообразие и филогенетические взаимосвязи пород свиней, разводимых в России, на основе анализа полиморфизма D-петли мтДНК. *Генетика*. 2022; 58(8): 920–932.
<https://doi.org/10.31857/S0016675822080045>

ОБ АВТОРАХ

Вероника Руслановна Харзинова

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
 veronika0784@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8067-0404>

Антон Михайлович Цыб

аспирант
 senior.tsyb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4054-120X>

Александра Сергеевна Абдельманова

доктор биологических наук, старший научный сотрудник
 abdelmanova@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>

Некруз Фарходович Бакоев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
 nekruz82@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0324-3580>

Надежда Александровна Чурбакова

аспирант
 nadushik95@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1061-2715>

Наталья Анатольевна Зиновьева

доктор биологических наук, профессор, академик
 Российской академии наук, директор
 n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

Федеральный исследовательский центр
 животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
 Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132,
 Россия

15. Alexander D.H., Novembre J., Lange K. Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. *Genome Research*. 2009; 19(9): 1655–1664.
<https://doi.org/10.1101/gr.094052.109>

16. Kharzinova V.R. et al. Genetic Diversity and Phylogenetic Relationships of Russian Pig Breeds Based on the Analysis of mtDNA D-Loop Polymorphism *Russian Journal of Genetics*. 2022; 58(8): 944–954.
<https://doi.org/10.1134/S102279542208004X>

ABOUT THE AUTHORS

Veronika Ruslanovna Kharzinova

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
 veronika0784@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8067-0404>

Anton Mikhailovich Tsyb

Graduate Student
 senior.tsyb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4054-120X>

Alexandra Sergeevna Abdelmanova

Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher
 abdelmanova@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>

Nekruz Farkhodovich Bakoev

Candidate of Agricultural Sciences, Research Associate
 nekruz82@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0324-3580>

Nadezhda Aleksandrovna Churbakova

Graduate Student
 nadushik95@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1061-2715>

Natalia Anatolievna Zinovieva

Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician
 of the Russian Academy of Sciences, Director
 n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,

60 Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region,
 142132, Russia

А.С. Абдельманова¹ ✉К.Д. Чаицкая²М.С. Форнара¹П.О. Щеголев²А.А. Чаицкий²О.И. Боронецкая³А.А. Королев²Н.А. Зиновьева¹

¹Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия

²Костромская государственная сельскохозяйственная академия, пос. Караваяво, Костромская обл., Россия

³Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

✉ abdelmanova@vij.ru

Поступила в редакцию: 19.06.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Абдельманова А.С., Чаицкая К.Д., Форнара М.С., Щеголев П.О., Чаицкий А.А., Боронецкая О.И., Королев А.А., Зиновьева Н.А.

Research article

 creative commons
Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-106-115

Alexandra S. Abdelmanova¹ ✉Ksenia D. Chaickaya²Margaret S. Fornara¹Pavel O. Shchegolev²Alexey A. Chaitsky²Oksana I. Boronetskaya³Anton A. Korolev²Natalia A. Zinovieva¹

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russia

²Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Kostroma region, Russia

³Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉ abdelmanova@vij.ru

Received by the editorial office: 19.06.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Abdelmanova A.S., Chaickaya K.D., Fornara M.S., Shchegolev P.O., Chaitsky A.A., Boronetskaya O.I., Korolev A.A., Zinovieva N.A.

Исследование сохранности генетических компонентов родоначальника костромской породы в современных популяциях на основании анализа микросателлитных маркеров

РЕЗЮМЕ

Наибольшую экономическую эффективность показывают специализированные породы скота. При этом высок риск потери уникального генофонда отечественных пород. Костромская порода крупного рогатого скота является достижением отечественных селекционеров и обладает рядом ценных качеств. Одним из выдающихся родоначальников породы был бык Салат 1216 — чемпион породы в 1954 году. Заводская линия быка до сих пор обладает большим генетическим потенциалом.

Цели работы — сравнительное исследование музейных и современных образцов крупного рогатого скота костромской породы, анализ сохранности и распространенности генетических компонентов быка Салата 1216 в современной популяции породы.

Материалом для получения ДНК из музейных образцов служили фрагменты зуба быка Салата 1216. В качестве групп сравнения использованы исторические образцы генетического материала, выделенные из костей черепа костромской (KSTRM_H, n = 3) и бурой швицкой (BRWS_H, n = 5) пород, датируемые первой половиной XX века, а также современные образцы биологического материала (геномная ДНК, полученная из периферической крови) костромской (KSTRM, n = 60) и бурой швицкой пород двух популяций: разводимой в России (BRWS_R, n = 23) и в Германии (BRWS_G, n = 57).

В результате исследований были генотипированы 9 микросателлитных маркеров. Анализ данных проводили с использованием программы GenAlEx и программной среды R. Аллельный профиль Салата 1216 совпадал с профилем KSTRM_H в 6 из 9 локусов, в 4 из 9 локусов — с профилем KSTRM. В современной костромской породе преобладают (в среднем 64,82%) генетические компоненты, характерные для Салата 1216. Исследования показали обособленность генетического профиля родоначальника костромской породы быка Салата 1216 от улучшающей бурой швицкой породы и подтвердили сохранение его генетических компонентов в современных популяциях костромской породы.

Ключевые слова: скотоводство, локальные породы, генетическое разнообразие, сохранение генетических ресурсов, костромская порода, музейные образцы

Для цитирования: Абдельманова А.С. и др. Исследование сохранности генетических компонентов родоначальника костромской породы в современных популяциях на основании анализа микросателлитных маркеров. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 106–115. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-106-115>

Study of the preservation of genetic components of the ancestor of the Kostroma breed in modern populations based on the analysis of microsatellite markers

ABSTRACT

In modern realities, specialized breeds of livestock demonstrate the highest economic efficiency. However, there is a significant risk of losing the unique gene pool of domestic breeds. The Kostroma breed of cattle is an outstanding achievement of breeders and possesses a number of valuable qualities. One of the remarkable founders of the breed was the bull Salat 1216, the breed champion in 1954. The breeding line of Salat 1216 still has great genetic potential.

The objectives of the work are a comparative study of museum and modern samples of Kostroma cattle, an analysis of the preservation and prevalence of the genetic components of the Lettuce 1216 bull in the modern population of the breed.

The material consisted of fragments of the tooth of bull Salat 1216. Historical samples of the Kostroma (KSTRM_H, n = 3) and Brown Swiss (BRWS_H, n = 5) breeds, dated to the first half of the 20th century, were used as comparison groups, along with modern samples of the Kostroma breed (KSTRM, n = 60) and samples of the Brown Swiss breed from two populations: those bred in Russia (BRWS_R, n = 23) and those bred in Germany (BRWS_G, n = 57). Nine microsatellite markers were genotyped. Data analysis was conducted using the GenAlEx program and the R programming environment. The allele profile of Salat 1216 matched the profile of KSTRM_H at 6 out of 9 loci, and at 4 out of 9 loci with the profile of KSTRM. In the modern Kostroma breed, genetic components characteristic of bull Salat 1216 predominated (on average, 64.82%). The studies showed the distinctiveness of the genetic profile of the founder of the Kostroma breed, bull Salat 1216, from the improving Brown Swiss breed and confirmed the preservation of the genetic components in modern populations of the Kostroma breed.

Key words: cattle breeding, local breeds, genetic diversity, conservation of genetic resources, Kostroma breed, museum samples

For citation: Abdelmanova A.S. et al. Study of the preservation of genetic components of the ancestor of the Kostroma breed in modern populations based on the analysis of microsatellite markers. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 106–115 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-106-115>

Введение/Introduction

В настоящее время отечественное молочное скотоводство претерпевает путь существенной трансформации в стремлении достигнуть целевых показателей Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы¹, которая предусматривает увеличение молочной продуктивности коров на 25% к 2030 году.

Как свидетельствуют статистические исследования В.И. Чинарова (2020 г.), наибольшую экономическую эффективность в сложившихся экономических реалиях показывают породы скота, специализированные на производство большого объема молока, в первую очередь голштинская, и глубоко улучшенные ею отечественные породы, такие как черно-пестрая и холмогорская [1].

В этих условиях существует большой риск потери уникального генофонда отечественных пород скота, являющихся национальным достоянием, созданным нашими предшественниками в ходе тяжелого и упорного труда. Кроме того, как указывают И.В. Лазебная и соавт. (2022 г.), охранение генофонда отечественных пород крайне важно для поддержания биоразнообразия, что может оказаться критически важным в непредсказуемо меняющихся климатических условиях, сопровождающихся изменением эпизоотологической ситуации [2]. В связи с этим целесообразно провести ревизию сохранившегося отечественного генофонда и найти способы его сохранения и совершенствования, в том числе при помощи современных генетических технологий.

Костромская порода крупного рогатого скота по праву считается выдающимся достижением отечественных селекционеров и обладает рядом ценных качеств. По мнению академика ВАСХНИЛ Е.Ф. Лискуна, костромская порода по уровню продуктивности, качеству молока, энергии роста, воспроизводительной способности, устойчивости к заболеваниям, крепости конституции, а также по устойчивости передачи признаков потомству превосходит все импортные молочные породы, участвовавшие в ее образовании, в том числе, швицкую и альгаузскую [3].

Процесс формирования породы проходил при использовании ряда выдающихся быков-производителей, среди которых решающее влияние оказали быки швицкой породы Артист ИШ-55, Баро ЯШ-259, Эмо ЯШ-260, Шанго ИШ-57. Дальнейшее совершенствование породы базировалось на чистопородном разведении по линиям с применением внутрилинейного подбора и кросса линий [4].

По данным породного переучета, на 1 января 1974 года в СССР насчитывались 865 572 головы чистопородного костромского скота. В основном скот костромской породы был распространен в

Костромской, Ивановской и Владимирской областях РСФСР, Марийской АССР, а также Могилевской и Витебской областях БССР. В Костромской области в то время насчитывались 97 111 голов скота костромской породы [5]. К настоящему времени численность животных костромской породы радикально сократилась: на 1 января 2024 года в Костромской области в племенных хозяйствах зарегистрирована 3981 голова чистопородного скота [6].

Современный костромской скот имеет бурую масть различных оттенков — от светло-серой до темно-бурой. Тело длинное, грудь широкая и глубокая, таз широкий. Конечности крепкие, недлинные, ровно поставленные. Костяк крепкий, изредка переходящий в грубый. Выраженность мясных форм и обмускуленность хорошие [5]. Костромская порода относится к комбинированному (молочно-мясному) направлению продуктивности, что позволяет получать от животных как большой объем высококачественного молока, так и успешно выращивать их для убоя на мясо, получая убойный выход около 60% [6].

По данным ежегодника ВНИИплем по племенной работе за 2021 г., костромская порода крупного рогатого скота входила в тройку лучших пород в России по содержанию жира в молоке и в пятерку лучших — по содержанию белка в молоке и продолжительности использования коров [4].

На 1 января 2024 года удой на корову костромской породы в племенных хозяйствах Костромской области составил 7769 кг молока, содержание жира в молоке — 4,11%, содержание белка — 3,38%, живая масса коров — 549 кг [7]. При этом от коровы Любляны 9519 в АО «Племзавод «Караваево»» по 6-й лактации получен удой 15 277 кг молока при содержании жира и белка в молоке 4,45% и 3,43% соответственно [6]. Генофонд костромской породы отличается высокой концентрацией желательных вариантов генов бета- и каппа-казеина, что позволяет быстро формировать стада, производящие сыропригодное молоко и диетическое «молоко А2» [8–10].

Лучшие мужские потомки быков — основателей породы по показателям молочной продуктивности дочерей стали родоначальниками современных линий породы: Силача КТКС-83, Салата 1216 (КТКС-84), Каро КТКС-101, Ладка КТКС-253, Бархата ВДКС-6, Ограда ВДКС-24, Курса ИКС-161 [4].

Бык Салат 1216 отличался развитыми формами экстерьера (рис. 1) и достигал живой массы 852 кг. В 1954 году на Всероссийской сельскохозяйственной выставке он завоевал титул чемпиона породы за выдающееся по качеству потомство: лактирующие коровы-дочери имели удой на 215 кг, жирность молока на 0,06% и живую массу выше коров-матерей и своих сверстниц [11].

¹ Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы [электронный ресурс]. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/about/deps/dkdovssn/ftnp/>

Рис. 1. А) Фотография быка Салата 1216 [13]; Б) Скелет быка Салата 1216 костромской породы в Музее ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА»

Fig. 1. А) Photograph of the 1216 Lettuce bull [13]; Б) The skeleton of the 1216 Kostroma breed Lettuce bull in the Museum of the Kostroma State Agricultural Academy



А



Б

Бык Салат 1216 (КТКС-84) родился в 1942 году в совхозе «Каравaeво» Костромской области от коровы Сдобы КТКС-87 и быка Вапулы КТКС-16. Отец Салата, бык Вапула КТКС-16, через свою мать — корову Чайку КТКС-416 — связан с быками швицкой породы, оказавшими большое влияние на формирование массива костромской породы — Прутом ИШ-54 и Капралом ЧШ-21. Мать Салата — корова Сдоба КТКС-87 — была инбридирована в степени II–II на выдающегося караваевского быка Артиста ИШ-54 и отличалась высокой продуктивностью (за 300 дней лактации составил 7627 кг молока с жирностью 3,62%) [5].

Бык Салат 1216 объединяет в себе качества лучших животных стада «Каравaeво» и стад Заречной зоны Костромского района. От 34 дочерей Салата КТКС-83 в стаде племязавода «Каравaeво» были получены по 6198 кг молока с жирностью 3,93% [5]. От Салата 1216 была получена корова-рекордистка Красивая КТКС-710, давшая по второй лактации 12 516 кг молока с жирностью 3,8% и в последствии принесящая выдающегося быка-производителя Курса ИКС-161, который дал начало новой заводской линии [11].

Современные исследования показали, что наибольший процент многоплодных дочерей был выявлен в ОАО «Племзавод «Каравaeво»» в линии Салата 1216 — в 1,4 раза выше среднего показателя по выборке ($p < 0,01$) [12].

Благодаря сочетанию выдающегося экстерьера и высокой препотентности в отношении продуктивных качеств бык Салат 1216 (КТКС-83) стал основателем одной из старейших заводских линий костромской породы. Линия Салата КТКС-83 считается не только обильномолочной, но и жирномолочной, животные имеют красивые формы экстерьера². Однако из-за крайне широкого использования семени потомков Салата КТКС-83

в стадах с различным генофондом, продуктивностью, уровнем и качеством кормления продуктивные показатели линии стали снижаться и к 1980 году слабо отличались как по удою (от +9 до -15 кг), так и по содержанию (+0,08%) и выходу молочного жира (от +2,3 до -0,8 кг) по сравнению со сверстницами их дочерей [5].

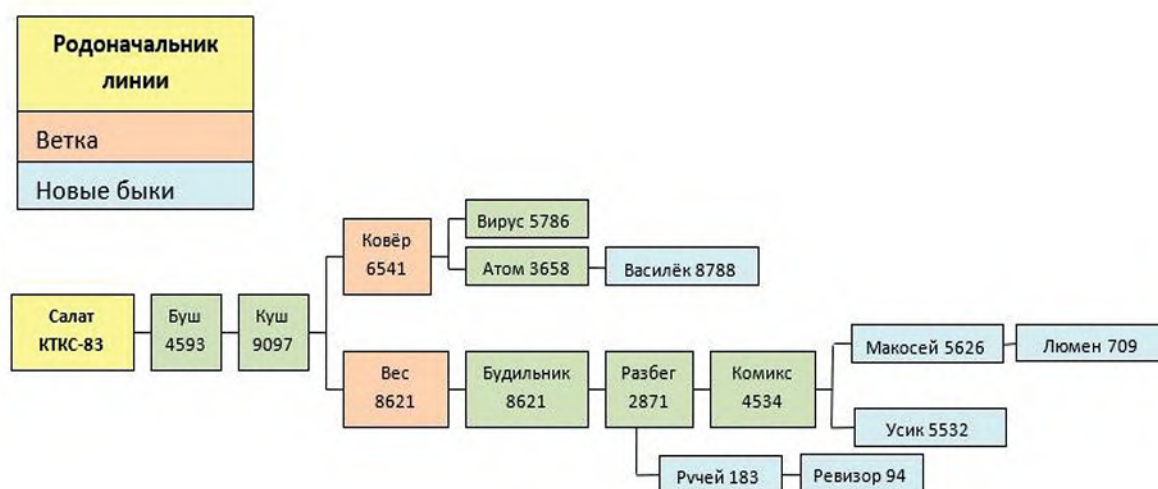
В недавних исследованиях сочетаемости линий и родственных групп костромской породы (Баранова, Королев, Казаков, 2024 г.) установлен определенный потенциал коров линии Салата 1216 при их кроссировании с быками родственной группы Меридиана 106157 по повышению удою и содержанию белка в молоке [13]. Селекционную работу с линией Салата КТКС-83 проводили по трем основным веткам — Софика КТКС-332, Коконка КТКС-331 и Буша 4593 (КТКС-451), при этом поголовье крупного рогатого скота (коров и быков) линии Салата в Костромской области составляло 9,02%, а по всей породе — 3,37% от общего поголовья [5].

В настоящее время в генеалогической структуре племенных хозяйств Костромской области 7% маточного поголовья всех возрастов принадлежит к линии Салата 1216 (КТКС-83). Работа с линией продолжается только по ветке Буша 4593 (рис. 2).

Таким образом, заводская линия быка Салата 1216 костромской породы до сих пор обладает большим генетическим потенциалом, однако остается малоизученной с позиции молекулярной генетики.

Цели работы — сравнительное исследование музейных и современных образцов крупного рогатого скота костромской породы, анализ сохранности и распространенности генетических компонентов быка Салата 1216 в современной популяции породы.

²Линия Салата 1216. Костромская порода коров [электронный ресурс]. URL: <https://vk.com/@-198440666-liniya-salata-1216> (дата обращения: 28.04.2025).

Рис. 2. Генеалогическая структура линии Салата 1216 в разрезе ветки Буша 4593**Fig. 2.** Genealogical structure of the Salat 1216 line in the context of the Bush branch

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для восполнения данных о генотипе родоначальника линии быка Салата 1216 в мае 2024 года были отобраны образцы ДНК его скелета, находящегося в музее ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА», и переданы на изучение в лабораторию функциональной и эволюционной геномики животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста³.

Материалом для исследований служили фрагменты зуба быка Салата 1216. Зуб был извлечен из черепа, обработан детергентом и промыт дистиллированной водой, после чего облучен ультрафиолетовым светом (254 нм) для снижения вероятности контаминации современной ДНК. Далее от зуба был отделен фрагмент корня и с помощью ультрацентрифужной мельницы измельчен до состояния костного порошка. Геномную ДНК выделяли с использованием коммерческого набора COOrDIS Extract decalcine (GORDIZ LLC, г. Москва, Россия) по протоколу, рекомендуемому производителем набора, с изменением количества костного порошка (200 ± 5 мг) и условий лизиса (56°C с ротацией 1200 об/мин в течение 16 ч.).

В качестве групп сравнения в анализ были включены образцы биологического материала, полученные из черепов костромской (KSTRM_H, $n = 3$) и бурой швицкой (BRSW_H, $n = 5$) пород, сохраняемых в краниологической коллекции музея им. Е.Ф. Лискуна (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) и датируемых первой половиной XX века.

Кроме исторических образцов, в анализ были включены современные образцы биологического материала (периферическая кровь, ушные выщипы, сперма) костромской породы (KSTRM, $n = 60$),

а также образцы бурой швицкой породы двух популяций: разводимой в России (BRSW, $n = 23$) и в Германии (BRSW_G, $n = 57$).

Геномную ДНК из образцов современного биологического материала выделяли с использованием коммерческого набора «Экстрен-2» («Синтол», г. Москва, Россия) в соответствии с рекомендациями производителя.

С целью исключения контаминации все манипуляции с использованием биологического материала исторических образцов проводили в лаборатории ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, приспособленной для работы с древней ДНК [14], строго в разные дни с современными образцами. При выполнении исследований использовали оборудование ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Девять микросателлитных локусов крупного рогатого скота, рекомендованных Международным обществом генетики животных (ISAG)⁴ (TGLA227, BM2113, ETH10, SPS115, TGLA122, INRA23, TGLA126, ETH225 и BM1824), объединенных в мультиплексную панель, были генотипированы при следующих условиях: ПЦР проводили в реакционной смеси объемом 10 мл, содержащей ПЦР-буфер, 200 мМ dNTPs, 1,0 мМ $MgCl_2$, 0,5 мМ смесью праймеров, 1 ед. Taq полимеразы и 1 мкл геномной ДНК. После начальной денатурации (95°C , 4 мин.) проводили 35 циклов при следующих температурных и временных режимах: 95°C , 20 с.; 63°C , 30 с. и 72°C , 1 мин. Финальную элонгацию проводили при 72°C в течение 10 мин.

Микросателлиты вместо SNP-маркеров, часто используемых в популяционно-генетических исследованиях, были выбраны по следующим

³ ДНК быка Салата послужит на благо российской науки / Портал ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА».

URL: <https://kgsxa.ru/11133-dnk-byka-salata-posluzhit-na-bлаго-rossijskoj-nauki> (дата обращения: 28.04.2025).

⁴ FAO. Molecular Genetic Characterization of Animal Genetic Resources; FAO Animal Production and Health Guidelines: Rome, Italy. 2011; 68–69. Available online: <http://www.fao.org/3/i2413e/i2413e00.pdf>

причинам: полученная из исторических образцов ДНК, как правило, имеет низкую концентрацию, что осложняет получение корректных результатов на SNP-чипах, поскольку для этого типа анализа требуется большее количество ДНК, чем для проведения ПЦР при анализе STR-маркеров, а также возможно возникновение ошибок определения генотипа в отдельных локусах из-за сильной деградации ДНК в результате постмортальных изменений, обусловленных гидролитическим дезаминированием цитозина в урацил.

Генотипирование исторических образцов проводили минимум в пяти повторах для определения консенсусного генотипа, как описано ранее [15]. При генотипировании исторических образцов в каждом повторе использовали отрицательный контроль (реакция ПЦР без матрицы ДНК) для контроля контаминации.

Анализ фрагментов проводили на генетическом анализаторе ABI3130xl (Applied Biosystems, Беверли, Массачусетс, США) с использованием GeneScan™-350 ET ROX в качестве стандарта фрагментов. Для определения длин фрагментов использовали программное обеспечение Gene Mapper v. 4 (Applied Biosystems, Беверли, Массачусетс, США). Размеры аллелей были стандартизированы в соответствии с ISAG International Bovine (Bos Taurus) STR typing comparison test 2018–2019.

В ходе работы проведена оценка изменчивости аллелофонда и филогенетических взаимосвязей исследуемых популяций. С использованием программы GenAlEx [16] определяли среднее число аллелей (N_a) и эффективное число аллелей (N_e) на локус, число частных аллелей на локус (P_a), наблюдаемую (H_o) и ожидаемую (H_e) гетерозиготность, коэффициент инбридинга (FIS).

Анализ главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) и оценку степени миграции генов между популяциями на основе частот аллелей микросателлитов проводили в программной среде R 3.5.0⁵ с использованием пакетов diveRsity, adegenet, ggplot2.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В исследованных группах с использованием программного продукта GenAlEx [16] были оценены показатели аллельного разнообразия на основании генотипов по 9 STR-локусам (табл. 1).

Как видно из данных таблицы 1, всего в исследуемой выборке были идентифицированы 69 аллелей, наиболее полиморфными были локусы TGLA122 и TGLA227 (по 12 аллелей в каждом), наименее полиморфными — локусы BM1824, TGLA126 и ETH10 (по 5 аллелей в

Таблица 1. Аллельное разнообразие исследованных групп

Table 1. Allelic diversity of the studied groups

Локус	BRSW_G	BRSW	BRSW_H	KSTR_H	Salat	KSTRM	N_a
n	57	23	5	3	1	60	
TGLA227	7	10(1) ¹	8(1)	5	2	8	12
BM2113	8(2)	6	5	4	2	6	8
ETH10	4	4	5	4	2	4	5
SPS115	5	5	3	3	1	6(1)	6
TGLA122	8(1)	7	6(1)	3	2	9(1)	12
INRA23	6(2)	6(1)	4	2	2	6	9
TGLA126	5(1)	4	3	2	1	4	5
ETH225	5	6	5	3	1	7(1)	7
BM1824	4	4	5(1)	4	2	4	5
Итого:	52(6)	52(2)	44(3)	30	15	54(3)	69

Примечание: современные популяции: BRSW_G — бурая швицкая порода (немецкая селекция), BRSW — бурая швицкая порода (российская селекция); KSTRM — костромская порода; исторические популяции: BRSW_H — бурая швицкая порода; KSTR_H — костромская порода; Salat — бык Салат; n — количество образцов в группе; N_a — выявлено аллелей в локусе; ¹ количество аллелей (количество частных аллелей).

каждом). Современная популяция костромской породы превосходила обе современные популяции бурой швицкой породы по количеству аллелей (54 против 52 соответственно), однако уступала немецкой популяции по количеству частных аллелей.

У исторической популяции бурой швицкой породы обнаружены 44 аллеля, из которых 3 были уникальными для данной группы, в то время как у исторической костромской частных аллелей выявлено не было. Это может объясняться как малым размером выборки в исторических группах, так и более существенным изменением генофонда бурой швицкой породы по сравнению с костромской. У быка Салата были выявлены 15 аллелей (из 9 локусов 6 были гетерозиготными), однако частных аллелей выявлено не было, что может свидетельствовать о сохранении присущих ему аллельных вариантов в современной костромской породе.

Анализ структуры филогенетических деревьев (рис. 3) показал, что немецкая и историческая популяции бурой швицкой породы сформировали объединенную ветвь, в то время как остальные группы локализовались на другой ветви. Интересно отметить, что Салат кластеризовался между современной и исторической популяциями костромской породы. Современная популяция бурой швицкой породы российской селекции располагалась на одной ветви с группой костромских образцов, что может свидетельствовать об обмене генетическим материалом между бурой швицкой и костромской породами.

С целью более полного понимания изменений в частотах встречаемости аллелей были составлены

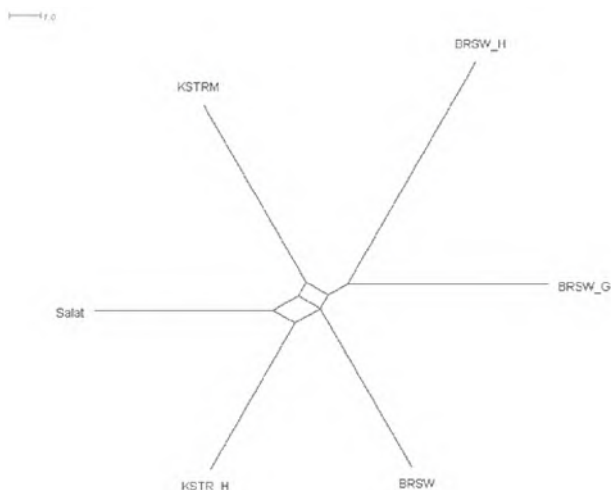
⁵ R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. URL: <https://www.R-project.org/>

Рис. 3. Дендрограмма на основании попарных генетических дистанций FST для изучаемых исторических и современных популяций скота

Примечание: современные популяции: BRSW_G — бурая швицкая порода (немецкая селекция), BRSW — бурая швицкая порода (российская селекция); KSTRM — костромская порода; исторические популяции: BRSW_H — бурая швицкая порода; KSTR_H — костромская порода; Salat — бык Салат.

Fig. 3. Dendrogram based on pairwise genetic distances FST for the studied historical and modern livestock populations

Note: modern populations: BRSW_G — brown Swiss breed (German breeding), BRSW — brown Swiss breed (Russian breeding); KSTRM — Kostroma breed; historical populations: BRSW_H — brown Swiss breed; KSTR_H — Kostroma breed; Salat — bull Salad.



аллельные профили для каждой исследуемой группы. В каждой исследуемой группе для каждого локуса в отдельности определены аллели с максимальной частотой встречаемости (рис. 4). Такие аллели были приняты как характерные (наиболее часто встречающиеся) для данной популяции.

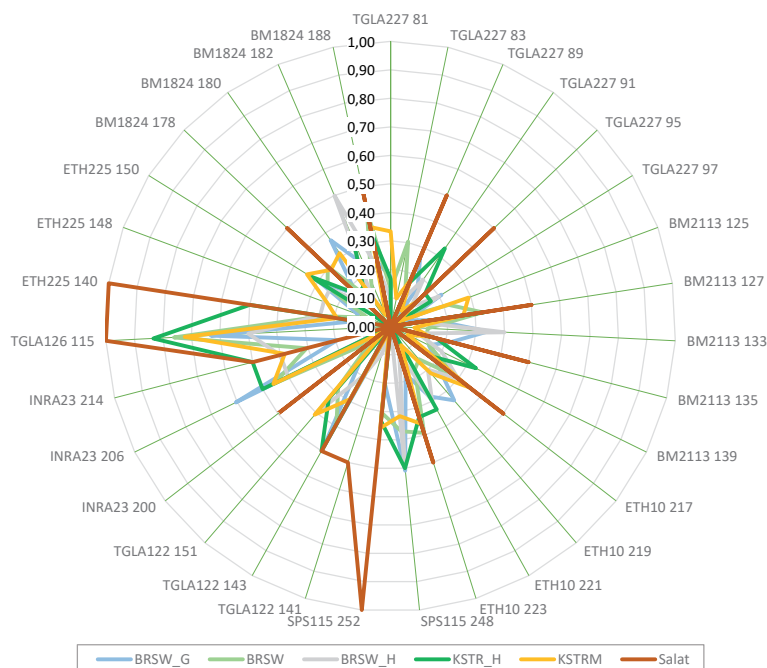
Как видно из данных рисунка 2, наиболее сильно группы отличались по локусу TGLA227, в котором обнаружены 6 разных аллелей, характерных

Рис. 4. Аллельные профили исследованных групп на основании анализа 9 STR-локусов

Примечание: современные популяции: BRSW_G — бурая швицкая порода (немецкая селекция), BRSW — бурая швицкая порода (российская селекция); KSTRM — костромская порода; исторические популяции: BRSW_H — бурая швицкая порода; KSTR_H — костромская порода; Salat — бык Салат; * TGLA227 81 — название локуса и размер аллеля.

Fig. 4. Allele profiles of the studied groups based on the analysis of 9 STR loci

Note: modern populations: BRSW_G — brown Swiss breed (German breeding), BRSW — brown Swiss breed (Russian breeding); KSTRM — Kostroma breed; historical populations: BRSW_H — brown Swiss breed; KSTR_H — Kostroma breed; Salat — bull Lettuce; * TGLA227 81 — locus name and allele size.



для исследованных популяций. Наименьшие различия выявлены для локуса TGLA126, в котором обнаружен аллель 115, общий для всех групп.

Стоит отметить, что аллельный профиль Салата в 6 из 9 локусов (BM2113, ETH10, TGLA122, INRA23, ETH225, BM1824) совпадал с профилем исторической популяции костромской породы, а в 4 из 9 локусов (ETH10, SPS115, INRA23, BM1824) — с профилем современной костромской породы, что может быть связано с некоторым изменением частот аллелей в процессе селекционной работы.

Оценка количества аллелей, общих для пар популяций (табл. 2), показала, что наименьшее количество общих аллелей выявлено для Салата и разных популяций бурой швицкой породы (от 25,00 до 29,55%). В современной популяции костромской породы большинство аллелей (96,67%) совпадало с аллелями, выявленными в исторической популяции.

Стоит отметить, что 100% аллелей, выявленных у быка Салата, обнаруживались в современной популяции костромской породы. Проведена оценка генетической структуры исследуемых популяций с использованием алгоритмов кластерного анализа (рис. 5).

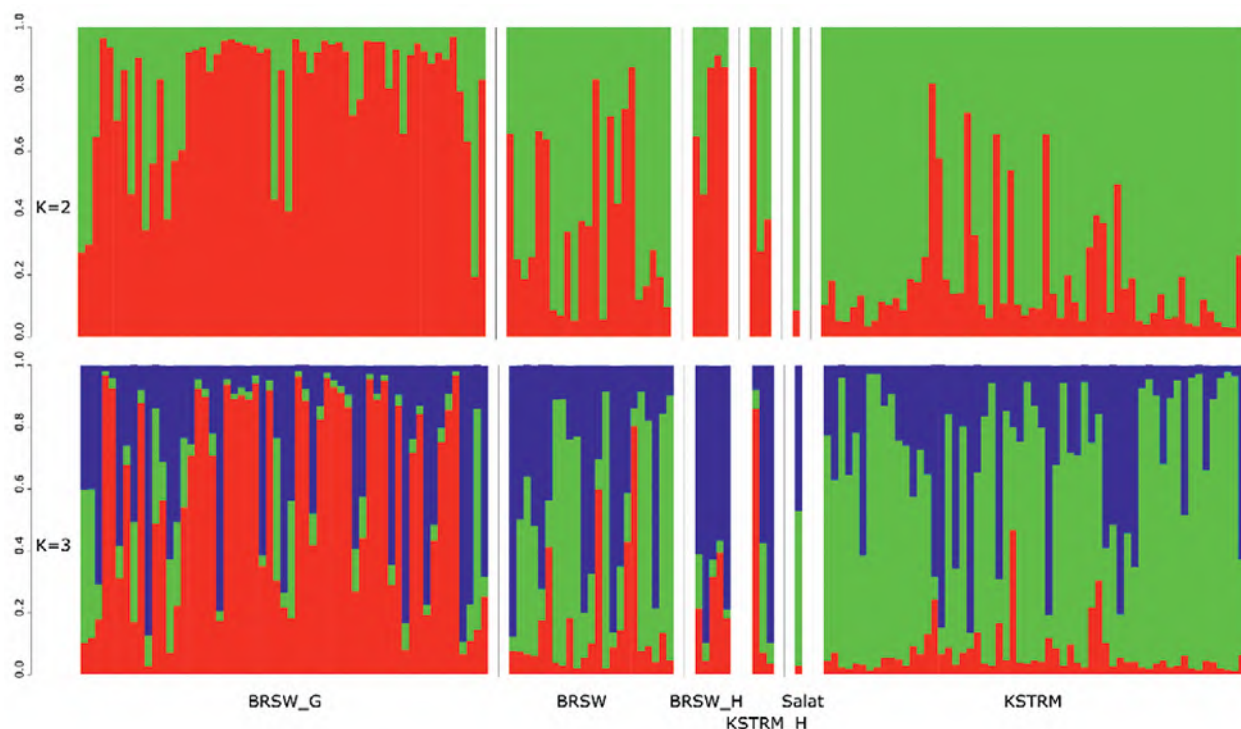
Таблица 2. Генетическая дифференциация популяций

Table 2. Genetic differentiation of populations

	BRSW_G	BRSW	BRSW_H	KSTR_H	Salat	KSTRM
BRSW_G	52	42	36	28	13	44
BRSW	80,77	52	38	29	14	48
BRSW_H	69,23	73,08	44	28	13	38
KSTR_H	53,85	55,77	63,64	30	13	29
Salat	25,00	26,92	29,55	43,33	15	15
KSTRM	84,62	92,31	86,36	96,67	100	54

Примечание: под диагональю — доля общих аллелей; над диагональю — количество аллелей, общих для двух групп; диагональ — общее количество аллелей в группе.

Рис. 5. Генетическая структура исследованных групп скота
Fig. 5. Genetic structure of the studied cattle groups



Как видно из данных (рис. 5), при количестве кластеров $K = 2$ в исследуемой выборке дифференцируются бурые швицкие и костромские образцы, причем историческая группа костромской породы несет значительную долю генетических компонентов, характерных для бурой швицкой породы. Это может быть связано с тем, что образцы KSTRM_H датированы началом XX века, то есть этапом создания костромской породы посредством улучшения местного скота бурыми швицкими быками. При этом современная бурая швицкая порода российской селекции демонстрирует генетические компоненты, общие с костромской породой, что может быть связано с использованием бурой швицкой в качестве улучшающей породы [17].

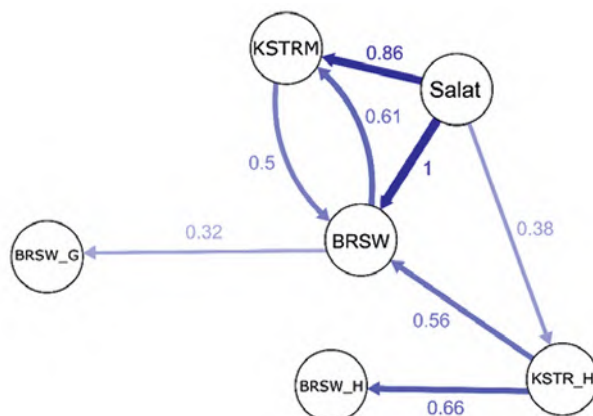
При увеличении количества кластеров до $K = 3$ наблюдалась дифференциация трех групп генетических компонентов: характерных для бурой швицкой породы немецкой селекции (красный цвет); свойственных костромской породе (зеленый цвет); компонентов, в разной степени общих для всех исследуемых групп (синий цвет).

Интересно отметить, что в современной костромской породе преобладают (в среднем 64,82%) генетические компоненты, характерные для быка Салата. При этом генетический профиль самого Салата на 50% состоит из «костромских» компонентов, на 47,1% — из компонентов, общих для всех исследуемых выборок, на 2,9% — из компонентов, характерных для бурой швицкой породы.

На основании частот аллелей с использованием меры дифференциации D , предложенной Jost [18], был проведен анализ степени миграции генов между исследованными популяциями (рис. 6).

Рис. 6. Относительная миграция генов между исследованными популяциями на основании оценок D Jost

Fig. 6. Relative gene migration between the studied populations based on D Jost estimates



Как видно на рисунке 6, выявлена односторонняя интрогрессия генов от Салата в современные костромскую и бурую швицкую популяции. Наблюдался некоторый поток генов в историческую популяцию костромской породы. Кроме того, выявлен интенсивный обмен генетическим материалом между современными популяциями костромской породы и бурой швицкой породы российской селекции, что не противоречит истории развития этих пород. В костромской породе выявлено как изменение, так и сохранение частот аллелей в некоторых локусах в результате селекционной работы, в то время как исследование образцов черно-пестрой породы 70–80-х годов XX века показало возрастание доли аллелей, связанных с повышенной чувствительностью к лейкозу, что может быть результатом активного использования улучшающей породы [19].

Анализ филогенетических связей локальных пород европейского и азиатского происхождения на основании микросателлитных локусов подтвердил генетическую обособленность костромской и бурой швицкой пород друг от друга [20].

В проведенных ранее исследованиях генетической дифференциации популяций внутри костромской породы на основании частот аллелей генов мясной продуктивности высказаны предположения о влиянии эффекта основателя на структуру породы [2].

Имеются сведения об аллелофонде коров линии Салата по EAB-локусу: b — 0,0882; O' — 0,1176; O1 — 0,0882; P1I' — 0,0882; I1G'G' — 0,2647; Y2G'Y'G' — 0,2940; B2G3QT1A'1 P' — 0,0588; B1O3Y2A'E'G'P'Q'Y' — 0,2128 [21]. При этом, как отмечают Ф.Н. Янченко, А.А. Ильинский, Р.Г. Глуценко и соавт. (1982 г.), степень гомозиготности (Ca) на момент составления плана племенной работы у животных линии Салата составляла 10,8% при общей степени гомозиготности в стаде ПЗ «Караваево» на уровне 14%, отмечаясь наименьшей консолидированностью наследственности по сравнению с линиями Ладка и Каро [5].

На данный момент получены 6 быков линии Салата 1216: Ручей 183, Василёк 8788, Макошей 5626, Усик 5532, Ревизор 94 и Люмен 709 [6]. Установлено, что как минимум два из названных

быков несут в своем генотипе желательные аллели по генам бета- и каппа-казеина^{6, 7}. Усилия специалистов-селекционеров, работающих с костромской породой скота, в дальнейшем будут направлены на увеличение маточного поголовья линии Салата 1216 [17, 22].

Выводы/Conclusions

Проведенные сравнительные исследования музейных и современных образцов ДНК крупного рогатого скота костромской и бурой швицкой пород выявили обособленность генетического профиля родоначальника костромской породы — быка Салата 1216 — от профиля улучшающей бурой швицкой породы, что свидетельствует о важном этапе в формировании новой на тот момент породы — костромской.

В результате работы было установлено сохранение генетических компонентов быка Салата в современных популяциях костромской породы, несмотря на использование улучшающей швицкой породы.

Таким образом, с помощью молекулярно-генетического анализа достоверно подтверждено сохранение генофонда и закрепленных в нем уникальных качеств отечественной костромской породы крупного рогатого скота, несмотря на длительное использование улучшающей породы в селекционной работе.

⁶ Каталог быков отечественных молочных пород / Портал Головного центра по воспроизводству сельскохозяйственных животных [электронный ресурс].

URL: <https://oaohcr.ru/bulls/milk/otechestvennye-porody/filter/breed-is-kostr/apply/> (дата обращения: 28.04.2025).

⁷ Семья быков костромской породы: каталог быков АО «Ярплем» / Ярославское. Региональный информационно-селекционный центр. URL: <https://yarplem.ru/seed-bulls/kostromskaya/> (дата обращения: 28.04.2025).

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 российского научного фонда (проект № 19-76-20012).

FUNDING

Supported financially by Russian Science Foundation (project No. 19-76-20012).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чинаров В.И. Породные ресурсы скотоводства России. *Достижения науки и техники АПК*. 2020; 34(7): 80–85. <https://www.elibrary.ru/rpcvfi>
2. Лазебная И.В., Перчун А.В., Лазебный О.Е. Внутрипородная дифференциация аборигенной костромской породы крупного рогатого скота на основе SNP-маркеров мясной продуктивности. *Успехи современной биологии*. 2022; 142(5): 463–476. <https://doi.org/10.31857/S0042132422050088>
3. Лискун Е.Ф. Отечественные породы крупного рогатого скота. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1949; 176.
4. Парамонова Н.Ю., Баранов А.В., Баранова Н.С., Гусева Т.Ю., Королев А.А., Казаков Д.С. Костромская порода крупного рогатого скота — ценный генофонд отечественного животноводства. *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2021; (1): 6–17. https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_01_6
5. Янченко Ф.Н. и др. План племенной работы с костромской породой крупного рогатого скота в Нечерноземной зоне РСФСР на 1980–1990 годы. Кострома. 1982; 221.

REFERENCES

1. Chinarov V.I. Resources of Russian cattle breeding. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2020; 34(7): 80–85 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rpcvfi>
2. Lazebnaya I.V., Perchun A.V., Lazebny O.E. Intra-breed differentiation of the aboriginal Kostroma cattle breed based on SNP markers of meat productivity. *Advances in modern biology*. 2022; 142(5): 463–476. <https://doi.org/10.31857/S0042132422050088>
3. Liskun E.F. Domestic breeds of cattle. Moscow: State Publishing House of Agricultural Literature. 1949; 176 (in Russian).
4. Paramonova N.Yu., Baranov A.V., Baranova N.S., Guseva T.Yu., Korolev A.A., Kazakov D.S. Kostroma breed of cattle is a valuable gene pool of domestic livestock. *Agrarian bulletin of the non-Chernozem region*. 2021; (1): 6–17 (in Russian). https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_01_6
5. Yanchenko F.N. et al. Breeding plan for the Kostroma breed of cattle in the Non-Black Earth Zone of the RSFSR for 1980–1990. Kostroma. 1982; 221 (in Russian).

6. Королев А.А., Баранова Н.С. Племенная ценность и перспективы разведения крупного рогатого скота костромской породы. *Отечественные породы крупного рогатого скота как драйвер развития животноводческой отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию костромской породы крупного рогатого скота, 80-летию Костромской области, 75-летию Костромской государственной сельскохозяйственной академии*. Караваево: Костромская ГСХА. 2024; 32–42. <https://www.elibrary.ru/aejrud>
7. Жукова Е.В., Савина Е.Д., Корневская П.А., Пастух О.Н. Качественная оценка молока — сырья отечественных пород крупного рогатого скота. *Сельскохозяйственный журнал*. 2024; (1): 109–119. <https://www.elibrary.ru/ffldwx>
8. Позднякова В.Ф. Современное состояние и пути совершенствования высокопродуктивных коров отечественных пород. *Отечественные породы крупного рогатого скота как драйвер развития животноводческой отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию костромской породы крупного рогатого скота, 80-летию Костромской области, 75-летию Костромской государственной сельскохозяйственной академии*. Караваево: Костромская ГСХА. 2024; 82–89. <https://www.elibrary.ru/iarhgp>
9. Середина Н.А., Фадеева Г.В. Экономическая эффективность костромской породы крупного рогатого скота. *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2021; (1): 50–55. https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_01_50
10. Чаицкий А.А. и др. Влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2022; (2): 33–43. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005>
11. Королев А.А., Баранова Н.С., Баранов А.В. Характеристика основных линий и родственных групп скота костромской породы. *Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии*. Кострома: Костромская ГСХА. 2018; 88: 44–53. <https://www.elibrary.ru/ylogod>
12. Баранова Н.С., Баранов А.В. Повышение плодovitости как метод сохранения генофонда скота костромской породы. *70 лет костромской породе скота. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию костромской породы крупного рогатого скота*. Караваево: Костромская ГСХА. 2014; 72–82. <https://www.elibrary.ru/joqtrv>
13. Баранова Н.С., Королев А.А., Казаков Д.С. Влияние различных типов подбора на молочную продуктивность коров костромской породы. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024; (3): 134–145. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-134-145>
14. Абдельманова А.С. и др. Методы экстракции ДНК из костных образцов крупного рогатого скота, сохраняемых в краниологической коллекции. *Сельскохозяйственная биология*. 2019; 54(6): 1110–1121. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1110rus>
15. Абдельманова А.С. и др. Определение консенсусных генотипов по микросателлитам у музейных краниологических образцов крупного рогатого скота (*Bos taurus*). *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(6): 1035–1045. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1035rus>
16. 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>
17. Королев А.А., Баранова Н.С., Кузьменков И.И., Казаков Д.С. Племенная база костромской породы крупного рогатого скота: состояние, проблемы и перспективы. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2023; (3): 27–36. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.63.3.003>
18. Jost L. G_{ST} and its relatives do not measure differentiation. *Molecular Ecology*. 2008; 17(18): 4015–4026. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03887.x>
19. Абдельманова А.С., Форнара М.С., Бакоев Н.Ф., Зиновьева Н.А. Идентификация полиморфизмов локуса BoLA-DRB3.2 в образцах черно-пестрого скота разных временных периодов. *Аграрная наука*. 2024; (12): 104–108. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-104-108>
20. Svishcheva G., Babayan O., Lkhasaranov B., Tsendsuren A., Abdurasulov A., Stolpovsky Y. Microsatellite Diversity and Phylogenetic Relationships among East Eurasian *Bos taurus* Breeds with an Emphasis on Rare and Ancient Local Cattle. *Animals*. 2020; 10(9): 1493. <https://doi.org/10.3390/ani10091493>
6. Korolev A.A., Baranova N.S. Breeding value and prospects for breeding cattle of the Kostroma breed. *Domestic breeds of cattle as a driver for the development of the livestock industry. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Kostroma breed of cattle, the 80th anniversary of Kostroma region, and the 75th anniversary of Kostroma State Agricultural Academy*. Karavayevo: Kostroma State Agricultural Academy. 2024; 32–42 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/aejrud>
7. Zhukova E.V., Savina E.D., Korenevskaya P.A., Pastukh O.N. Qualitative assessment of milk — raw material of domestic cattle breeds. *Agricultural Journal*. 2024; (1): 109–119 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ffldwx>
8. Pozdnyakova V.F. Current status and ways to improving highly productive cows of domestic breeds. *Domestic breeds of cattle as a driver for the development of the livestock industry. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Kostroma breed of cattle, the 80th anniversary of Kostroma region, and the 75th anniversary of Kostroma State Agricultural Academy*. Karavayevo: Kostroma State Agricultural Academy. 2024; 82–89 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/iarhgp>
9. Sereda N.A., Fadeeva G.V. Economic efficiency of the Kostroma cattle breed. *Agrarian bulletin of the non-Chernozem region*. 2021; (1): 50–55 (in Russian). https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_01_50
10. Chaitsky A.A. et al. Influence of genotypes of kappa-casein gene on cheese properties of cow's milk. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2022; (2): 33–43 (in Russian). <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005>
11. Korolev A.A., Baranova N.S., Baranov A.V. Characteristics of main lines and related group of cattle of Kostroma breed. *Proceedings of Kostroma State Agricultural Academy*. Kostroma: Kostroma State Agricultural Academy. 2018; 88: 44–53 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ylogod>
12. Baranova N.S., Baranov A.V. Increasing fertility as a method to maintain the Kostroma breed gene pool. *70 years of the Kostroma breed of cattle. Collection of articles from the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Kostroma breed of cattle*. Karavayevo: Kostroma State Agricultural Academy. 2014; 72–82 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/joqtrv>
13. Baranova N.S., Korolev A.A., Kazakov D.S. Impact of different types of selection on the milk productivity of Kostroma breed cows. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; (3): 134–145 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-134-145>
14. Abdelmanova A.S. et al. Comparative study of different methods of DNA extraction from cattle bones specimens maintained in a craniological collection. *Agricultural Biology*. 2019; 54(6): 1110–1121. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1110eng>
15. Abdelmanova A.S. et al. Determination of consensus genotypes by microsatellites for museum accessions of cattle (*Bos taurus*). *Agricultural Biology*. 2023; 58(6): 1035–1045. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1035eng>
16. 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>
17. Korolev A.A., Baranova N.S., Kuzmenkov I.I., Kazakov D.S. Breeding base of the Kostroma cattle breed: state, problems and prospects. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2023; (3): 27–36 (in Russian). <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.63.3.003>
18. Jost L. G_{ST} and its relatives do not measure differentiation. *Molecular Ecology*. 2008; 17(18): 4015–4026. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03887.x>
19. Abdelmanova A.S., Fornara M.S., Bakoev N.F., Zinovieva N.A. Identification of polymorphisms of the BoLA-DRB3.2 locus in samples of black-and-white cattle from different time periods. *Agrarian science*. 2024; (12): 104–108 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-104-108>
20. Svishcheva G., Babayan O., Lkhasaranov B., Tsendsuren A., Abdurasulov A., Stolpovsky Y. Microsatellite Diversity and Phylogenetic Relationships among East Eurasian *Bos taurus* Breeds with an Emphasis on Rare and Ancient Local Cattle. *Animals*. 2020; 10(9): 1493. <https://doi.org/10.3390/ani10091493>

21. Баранов А.В., Парамонова Н.Ю., Баранова Н.С., Гусева Т.Ю., Королев А.А., Казаков Д.С. Костромская порода крупного рогатого скота в новом столетии: состояние и перспективы (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019; 20(6): 533–547. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.533-547>

22. Гусева Т.Ю. Перспективы совершенствования племенной работы с линиями костромской породы. *70 лет костромской породе скота. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию костромской породы крупного рогатого скота*. Караваево: Костромская ГСХА. 2014; 14–20. <https://www.elibrary.ru/dnnhrh>

ОБ АВТОРАХ

Александра Сергеевна Абдельманова¹

доктор биологических наук, старший научный сотрудник
abdelmanova@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>

Ксения Дмитриевна Чаицкая²

кандидат ветеринарных наук, заведующая лабораторией генетики и ДНК-технологий
kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Маргарет Сергеевна Форнара¹

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
margaretfornara@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8844-177X>

Павел Олегович Щеголев²

кандидат сельскохозяйственных наук
bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Алексей Александрович Чаицкий²

кандидат биологических наук, преподаватель
alekseichaitkiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Оксана Игоревна Боронетская³

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
liskun@rgau-msha.ru
orcid.org/0000-0001-8389-5572

Антон Александрович Королев²

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий региональным информационно-селекционным центром
toscha.koroliow@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1561-5449>

Наталья Анатольевна Зиновьева¹

доктор биологических наук, академик Российской академии наук, профессор, директор
priemnaya-vij@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

¹Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

²Костромская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Учебный городок, 34, Караваево, Костромской р-н, Костромская обл., 156530, Россия

³Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Россия

21. Baranov A.V., Paramonova N.Yu., Baranova N.S., Guseva N.Yu., Korolev A.A., Kazakov D.S. Kostroma cattle breed in the new century: the state and the prospects (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(6): 533–547 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.533-547>

22. Guseva T.Yu. Prospects for improving the breeding lines of the Kostroma breed. *70 years of the Kostroma breed of cattle. Collection of articles from the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Kostroma breed of cattle*. Karavayev: Kostroma State Agricultural Academy. 2014; 14–20 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/dnnhrh>

ABOUT THE AUTHORS

Alexandra Sergeevna Abdelmanova¹

Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher
abdelmanova@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4752-0727>

Ksenia Dmitrievna Chaickaya²

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies
kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Margaret Sergeevna Fornara¹

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
margaretfornara@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8844-177X>

Pavel Olegovich Shchegolev²

Candidate of Agricultural Sciences
bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Alexey Alexandrovich Chaitisky²

Candidate of Biological Sciences, Lecturer
alekseichaitkiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Oksana Igorevna Boronetskaya³

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher
liskun@rgau-msha.ru
orcid.org/0000-0001-8389-5572

Anton Aleksandrovich Korolev²

Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Regional Information and Breeding Center
toscha.koroliow@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1561-5449>

Natalia Anatolyevna Zinovieva¹

Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director
priemnaya-vij@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

¹L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,

60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia

²Kostroma State Agricultural Academy, 34 Uchebny Gorodok Str., Karavayev, Kostroma district, Kostroma region, 156530, Russia

³Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russia

Сравнительная генетическая оценка двух популяций северного оленя ненецкой породы уральского экотипа

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Исследования в области популяционной генетики являются одним из основных инструментов для формирования стратегии селекционно-племенной работы и повышения экономической эффективности северного оленеводства.

Методы. Объектом исследования являлись северные олени Республики Коми (PSK, $n = 100$) и Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) (YOS, $n = 100$). Для генетического анализа использовали выщипы из ушной раковины и пантов. Генотип животных определяли по 16 микросателлитным маркерам с помощью тест-системы COReDIS Reindeer методом мультиплексной ПЦР. Статистический анализ выполнен в программе GenAlEx 6.503.

Результаты. Индекс Шеннона указывал на высокое аллельное разнообразие в локусах Rt1 (PSK) и OheQ (PSK, YOS), минимальное — в BMS745 и C276. Популяция PSK отличалась высокой наблюдаемой гетерозиготностью в Rt9 (0,940) и низкой — в C143 (0,430), а среди животных ЯНАО максимальные значения были в Rt1 и OheQ (0,880), минимальные — в C143 и C276 (0,350). Оценка индекса фиксации у оленей PSK выявила избыток гетерозиготности в Rt9 и Rt6, дефицит — в BMS1788, а у животных YOS избыток был в T40, дефицит — в C276. Популяция PSK имела более высокий запас гетерозиготности (0,040, $p \leq 0,05$) по отношению к YOS. Комплексный анализ выявил 7 уникальных последовательностей у оленей PSK и 4 — у YOS. Частоты частных аллелей составили 6% и 4% соответственно. Индекс фиксации Райта показал умеренную дивергенцию между популяциями в локусах BMS1788, Rt1, C143, C276 и C32, значительную дивергенцию — в BMS745. Оценки по Gst и Dest подтвердили полученные результаты. В целом популяция YOS оказалась менее генетически разнообразна по сравнению с PSK. Для снижения уровня инбридинга в стаде YOS необходимо организовать завоз производителей из других популяций.

Ключевые слова: северные олени, уральский экотип, генетическое разнообразие, аллельная дифференциация, инбридинг, генетическая схожесть

Для цитирования: Николаев С.В., Филатов А.В. Сравнительная генетическая оценка двух популяций северного оленя ненецкой породы уральского экотипа. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 116–122.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-116-122>

Comparative genetic assessment of two populations of reindeer of the Nenets breed of the Ural ecotype

ABSTRACT

Relevance. Research in the field of population genetics is one of the main tools for forming a breeding strategy and increasing the economic efficiency of reindeer husbandry.

Methods. The object of the study was the reindeer of the Komi Republic (PSK, $n = 100$) and the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug) (YOS, $n = 100$). Plucks from the auricle and antlers were used for genetic analysis. The genotype of the animals was determined by 16 microsatellite markers using the COReDIS Reindeer multiplex PCR test system. The statistical analysis was performed in the GenAlEx 6.503 program.

Results. The Shannon index indicated high allelic diversity in Rt1 (PSK) and OheQ (PSK, YOS) loci, with minimal diversity in BMS745 and C276. The PSK population was characterized by high observed heterozygosity in Rt9 (0.940) and low in C143 (0.430), while among Yamalo-Nenets Autonomous District animals, the maximum values were in Rt1 and OheQ (0.880), and the minimum values were in C143 and C276 (0.350). Assessment of the fixation index in PSK deer revealed an excess of heterozygosity in Rt9 and Rt6, a deficiency in BMS1788, and in YOS animals there was an excess in T40 and a deficiency in C276. The PSK population had a higher margin of heterozygosity (0.040, $p < 0.05$) relative to YOS. A comprehensive analysis revealed 7 unique sequences in PSK deer and 4 in YOS. The frequencies of private alleles were 6% and 4%, respectively. The Wright fixation index showed moderate divergence between populations at loci BMS1788, Rt1, C143, C276, and C32, and significant divergence at BMS745. The Gst and Dest scores confirmed these results. Overall, the YOS population turned out to be less genetically diverse compared to the PSK. To reduce the level of inbreeding in the YOS herd, it is necessary to organize the import of producers from other populations.

Key words: ural ecotype, reindeer, genetic diversity, allelic differentiation, inbreeding, genetic similarity

For citation: Nikolaev S.V., Filatov A.V. Comparative genetic assessment of two populations of reindeer of the Nenets breed of the Ural ecotype. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 116–122 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-116-122>

Введение/Introduction

Северное оленеводство представляет собой неотъемлемую составляющую традиционного уклада коренных народов Севера, являясь ключевым фактором жизнеобеспечения в Арктической зоне. Процесс одомашнивания северного оленя и его последующее использование в хозяйственной деятельности человека способствовали освоению северных территорий и формированию уникальной эколого-экономической системы [1, 2].

Характерные особенности данного биологического вида — его исключительная адаптивность к круглогодичному выпасу в экстремальных климатических условиях и эффективное использование природных кормовых ресурсов [3, 4]. Это обстоятельство обуславливает доминирующую роль естественного отбора в эволюционном процессе формирования и поддержания популяций северного оленя. В отличие от других направлений животноводства, искусственный отбор в северном оленеводстве оказывает значительно меньшее влияние на генетическую структуру популяции [5–7].

В контексте анализа экономической эффективности ключевым фактором, определяющим рентабельность данной отрасли, является результативность селекционно-племенной работы. В современных условиях, характеризующихся стремительным развитием биотехнологий и генетики, молекулярно-генетический анализ играет основную функцию в процессе отбора и подбора особей, обладающих желательными хозяйственными признаками [8–10]. Однако, учитывая специфику северного оленеводства, внедрение подобных технологий находится на начальном этапе развития.

Стоит отметить, что генетическое разнообразие играет ключевую роль в формировании адаптационных механизмов популяций к изменяющимся условиям окружающей среды, что особенно актуально в условиях Арктического региона с его климатическими особенностями и высокой степенью антропогенного воздействия [11, 12].

Таким образом, применение методов анализа генетического полиморфизма является перспективным направлением — как для научных, так и для прикладных исследований, что позволит осуществлять всесторонний мониторинг и контроль состояния популяций. Внедрение данных о ДНК-полиморфизме в селекционно-племенную работу обеспечит разработку и реализацию наиболее эффективных методов повышения продуктивности и адаптационных способностей северного оленя [13].

Цель исследований — проведение сравнительной генетической оценки двух популяций северных оленей ненецкой породы, относящихся к уральскому экотипу.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с 2024 по 2025 год в лаборатории северного оленеводства Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Объектом исследования являлись северные олени ненецкой породы, разводимые в двух территориально близких регионах — Республике Коми ($n = 100$) и ЯНАО ($n = 100$).

Животные Республики Коми (PSK) представляли стадо, принадлежащее сельскохозяйственному потребительскому кооперативу «Оленевод» (г. Воркута, Россия). Популяция ЯНАО состояла из особей Ямальской опытной станции (YOS) Тюменского научного центра (г. Салехард, Россия). На основании географического критерия и фенотипических характеристик обе популяции классифицируются как представители уральского экотипа породы с условным разделением, обусловленным Уральскими горами.

В качестве биологического материала для генетического анализа использовали ткани ушной раковины или пантов, полученных во время плановых коральных работ. Для предотвращения деградации нуклеиновых кислот пробы были помещены в пластиковые пробирки Эппендорфа и зафиксированы 96%-ным этиловым спиртом.

ПЦР-исследования выполнены в Российской инновационной биотехнологической компании ООО «Гордиз» (г. Москва, Россия).

Процедуру выделения ДНК осуществляли с применением коммерческого набора DNeasy Blood & Tissue Kit производства компании Qiagen (Германия). Генотипирование проводили методом анализа 16 микросателлитных локусов с использованием тест-системы CoReDIS Reindeer (Россия).

Для детекции флуоресцентно-меченых фрагментов применяли метод мультиплексной ПЦР в сочетании с капиллярным электрофорезом.

Специфичность генотипирования подтверждали с использованием контрольных образцов, входящих в состав аналитического комплекта.

С использованием программного обеспечения GenAIEx 6.503¹ был проведен анализ ключевых генетических характеристик для каждой популяции: количество наблюдаемых (N_a) и эффективных (N_e) аллелей, индекс Шеннона (H), уровни наблюдаемой (H_o) и ожидаемой (H_e) гетерозиготности, а также индексы фиксации (F_{is} , F_{st}). Кроме того, было проведено изучение для каждой выборки уникальных аллелей, включая их частоту (q) и суммарную частоту (Σq).

Для оценки генетических дистанций между двумя популяциями были использованы различные методологические подходы: DN^2 , F_{st} , G_{st} , $G'_{st}N$, $G'_{st}H$, G'_{st} , $Dest$ ³.

¹ Peakall R., Smouse P.E. GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*. 2012; 28: 2537–2539.

² Кузнецов В.М. Методы Нея для анализа генетических различий между популяциями. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2020; 1: 91–110.

³ Кузнецов В.М. Сравнение методов оценки генетической дифференциации популяций по микросателлитным маркерам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020; 21: 2: 169–182. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В таблице 1 отображены основные генетические характеристики исследуемых популяций северного оленя, полученные на основе анализа 16 микросателлитных маркеров.

На основании анализа микросателлитных маркеров установлен значительный полиморфизм по всем исследуемым локусам, за исключением локуса C32. Популяция PSK продемонстрировала полную мономорфность данного локуса, тогда как в популяции YOS выявлены два аллельных варианта, при этом второй аллель в популяции YOS имел крайне низкую частоту встречаемости (0,005), что может свидетельствовать о процессе его селективной элиминации из генофонда под давлением как естественного, так и искусственного отбора.

Наибольший уровень полиморфизма микросателлитов был зарегистрирован в локусе BMS1788 ($N_a = 11-12$) и OheQ ($N_a = 14-13$). В целом популяция PSK имела на три наблюдаемых аллеля больше по сравнению с популяцией YOS. Локусы Rt1, Rt9 и OheQ в обеих выборках характеризовались максимальным числом эффективных аллелей ($N_e > 6$). Сравнительный анализ наблюдаемого и эффективного числа аллелей показал, что наиболее близкое соответствие ($N_a/N_e < 1,5$) для популяции YOS присутствовало в локусах Rt1, Rt9 и C217, а для PSK — по Rt9, C217 и C32.

Индекс Шеннона, используемый для оценки генетической энтропии, демонстрировал значительное аллельное разнообразие ($I > 2$) в локусах Rt1 (PSK) и OheQ (PSK и YOS). В то же время минимальные значения индекса ($I < 1$) были установлены в локусах BMS745 и C276. В целом популяция

Таблица 1. Сравнительный анализ генетического полиморфизма двух популяций северного оленя на основе 16 микросателлитных маркеров

Table 1. Comparative analysis of the genetic polymorphism of two reindeer populations based on 16 microsatellite markers

Локус	Pop	N_a	N_e	N_a/N_e	I	H_o	H_e	uHe	F_{is}
BMS1788	PSK	12	5,097	2,354	1,890	0,750	0,804	0,808	0,067
	YOS	11	5,378	2,045	1,973	0,810	0,814	0,818	0,005
Rt30	PSK	8	2,417	3,310	1,160	0,620	0,586	0,589	-0,058
	YOS	7	2,157	3,245	1,027	0,530	0,537	0,539	0,012
Rt1	PSK	11	6,759	1,627	2,048	0,900	0,852	0,856	-0,056
	YOS	9	6,305	1,427	1,969	0,880	0,841	0,846	-0,046
Rt9	PSK	8	6,447	1,241	1,928	0,940	0,845	0,849	-0,113
	YOS	8	6,037	1,325	1,895	0,810	0,834	0,839	0,029
C143	PSK	3	1,774	1,691	0,751	0,430	0,436	0,438	0,014
	YOS	3	1,590	1,887	0,676	0,350	0,371	0,373	0,057
Rt7	PSK	8	2,969	2,695	1,418	0,660	0,663	0,667	0,005
	YOS	9	3,039	2,962	1,470	0,670	0,671	0,674	0,001
OheQ	PSK	14	6,875	2,036	2,212	0,840	0,855	0,859	0,017
	YOS	13	6,988	1,860	2,166	0,880	0,857	0,861	-0,027
FCB193	PSK	8	4,337	1,845	1,645	0,820	0,769	0,773	-0,066
	YOS	7	4,297	1,629	1,607	0,740	0,767	0,771	0,036
Rt6	PSK	10	4,432	2,256	1,781	0,870	0,774	0,778	-0,124
	YOS	10	3,831	2,610	1,656	0,740	0,739	0,743	-0,001
Rt24	PSK	10	4,749	2,106	1,801	0,760	0,789	0,793	0,037
	YOS	9	4,654	1,934	1,750	0,740	0,785	0,789	0,058
BMS745	PSK	5	2,048	2,441	0,904	0,510	0,512	0,514	0,004
	YOS	5	2,202	2,271	0,902	0,510	0,546	0,549	0,066
NVHRT16	PSK	6	3,662	1,638	1,471	0,710	0,727	0,731	0,023
	YOS	7	3,332	2,101	1,430	0,690	0,700	0,703	0,014
T40	PSK	7	3,794	1,845	1,521	0,730	0,736	0,740	0,009
	YOS	8	4,735	1,690	1,747	0,830	0,789	0,793	-0,052
C276	PSK	5	1,945	2,571	0,948	0,520	0,486	0,488	-0,071
	YOS	5	1,631	3,066	0,793	0,350	0,387	0,389	0,095
C217	PSK	6	4,103	1,462	1,536	0,780	0,756	0,760	-0,031
	YOS	6	4,039	1,486	1,494	0,720	0,752	0,756	0,043
C32	PSK	1	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	YOS	2	1,020	1,961	0,056	0,020	0,020	0,020	-0,010
В среднем по Pop	PSK	7,625±0,836	3,901±0,454	2,007±0,147	1,438±0,142	0,678±0,058	0,662±0,055	0,665±0,056	-0,023±0,014
	YOS	7,438±0,713	3,827±0,453	2,094±0,148	1,413±0,143	0,642±0,059	0,651±0,057	0,654±0,057	0,017±0,010*
В среднем по двум Pop		7,531±0,541	3,864±0,315	2,051±0,105	1,426±0,099	0,660±0,041	0,656±0,039	0,660±0,039	-0,002±0,009

Примечание: * различия достоверны ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям PSK.

YOS показала несколько более низкий уровень аллельного разнообразия Шеннона по сравнению с выборкой PSK.

При исключении значений локуса C32 популяция Республики Коми характеризовалась максимальным уровнем наблюдаемой гетерозиготности по Rt9 (0,940) и минимальным — по C143 (0,430). В свою очередь, выборка ЯНАО демонстрировала максимальные показатели гетерозиготности в локусах Rt1 и OheQ (0,880) и минимальные значения по C143 и C276 (0,350). В обеих исследуемых популяциях ожидаемая гетерозиготность была максимальной для локуса OheQ (0,855–0,857) и минимальной — для C143 (0,371–0,436). Несмещенные оценки ожидаемой гетерозиготности демонстрировали сопоставимые значения.

Полокусная оценка величины индекса фиксации показала, что для популяции PSK характерен выраженный избыток гетерозиготности в локусах Rt9 (-0,113) и Rt6 (-0,124), тогда как в локусе BMS1788 наблюдается ее дефицит (0,067). В популяции YOS избыток гетерозиготности зафиксирован в локусе T40 (-0,052), а дефицит — в локусе C276 (0,095).

По результатам статистического анализа установлено, что популяция PSK обладает достоверно более высоким запасом гетерозиготности на 0,040 ($p \leq 0,05$) по сравнению с популяцией YOS.

Анализ соответствия наблюдаемого распределения генотипов ожидаемым частотам в соответствии с законом Харди — Вайнберга (табл. 2) свидетельствует, что в популяции северных оленей Республики Коми достоверное отклонение наблюдается в трех локусах: Rt30 ($p = 0,004$), Rt24 ($p = 0,000$) и T40 ($p = 0,000$), тогда как у оленей ЯНАО наибольшее несоответствие присутствовало в двух локусах — Rt24 ($p = 0,013$) и C217 ($p = 0,019$). В целом по исследуемому экотипу значимые отклонения зарегистрированы по локусам Rt30 ($p = 0,002$) и Rt24 ($p = 0,009$).

Комплексный анализ аллельных вариаций, специфичных для каждой исследуемой популяции, выявил наличие 7 уникальных последовательностей в выборке PSK, отсутствующих у оленей YOS. В то же время популяция YOS демонстрировала наличие 4 микросателлитных маркеров, не обнаруженных у особей PSK (табл. 3).

Суммарная частота частных аллелей в выборке животных Республики Коми составила 6%, тогда как в популяции, обитающей в ЯНАО, данный показатель составил 4%. Эти результаты подчеркивают присутствие генетической дивергенции между изучаемыми популяциями.

На рисунке 1 представлена графическая интерпретация

Таблица 2. Значимость отклонений от равновесия Харди — Вайнберга для каждой комбинации «выборка — локус» (P)

Table 2. Significance of deviations from the Hardy — Weinberg equilibrium for each sample — locus combination (P)

Локус	PSK	YOS	В среднем по двум Pop
BMS1788	0,968	0,271	0,558
Rt30	0,004	1,000	0,002
Rt1	0,993	0,390	0,912
Rt9	0,435	0,711	0,739
C143	0,784	0,460	0,754
Rt7	0,197	0,985	0,568
OheQ	0,592	0,957	0,971
FCB193	0,340	0,581	0,577
Rt6	0,619	0,111	0,051
Rt24	0,000	0,013	0,009
BMS745	0,982	0,262	0,587
NVHRT16	0,269	0,381	0,130
T40	0,000	0,650	0,053
C276	0,986	0,463	0,796
C217	0,747	0,019	0,799
C32	мономорфный	0,920	0,943

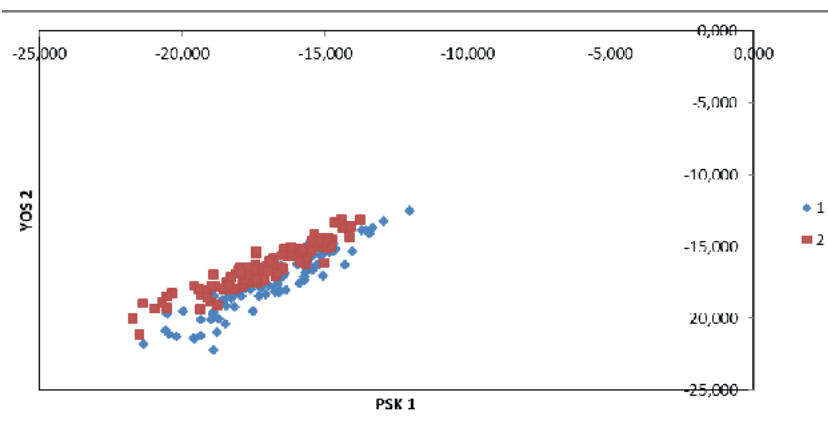
Таблица 3. Специфические для каждой исследуемой популяции аллельные варианты микросателлитных последовательностей

Table 3. Allelic variants of microsatellite sequences specific to each study population

Pop	Локус	Аллель	q	Σq
PSK	BMS1788	148	0,005	0,060
	Rt30	207	0,005	
	Rt1	241	0,005	
		265	0,015	
	OheQ	287	0,010	
	FCB193	130	0,010	
YOS	Rt24	254	0,010	0,040
	Rt7	238	0,015	
	NVHRT16	142	0,005	
	T40	204	0,010	
	C32	219	0,010	

Рис. 1. Визуализация генетического распределения, отражающая принадлежность индивидов к определенной популяции: 1 — PSK, 2 — YOS

Fig. 1. Visualization of the genetic distribution, reflecting the belonging of individuals to a certain population: 1 — PSK, 2 — YOS



генетического распределения, демонстрирующая принадлежность индивидов к определенной популяции и уровень их генетической однородности.

Анализ данных позволяет сделать вывод о повышенной генетической консолидации северных оленей популяции YOS, в то время как выборка PSK демонстрирует более высокую частоту встречаемости особей с уникальными генотипами, нехарактерными для основного массива животных.

На рисунке 2 отражена стандартная генетическая дистанция Нея (DN), рассчитанная для каждого отдельного локуса.

Анализ данных выявил, что наибольшая степень расхождения наблюдается в локусах BMS1788 (0,029), Rt1 (0,028), T40 и OheQ (0,020). Следует отметить, что в среднем величина генетической дистанции Нея между исследуемыми популяциями оказалась незначительной — 0,015. Эти результаты свидетельствуют о низком уровне генетической дивергенции между анализируемыми выборками.

Учитывая, что стандартная генетическая дистанция Нея может не полностью отражать истинную генетическую дивергенцию между популяциями, в таблице 4 представлены результаты расчетов, выполненных с использованием альтернативных статистических методов.

В результате проведенного анализа установлено, что индекс фиксации Райта (Fst), который отражает уровень структурирования аллельных частот, свидетельствует о наличии умеренной дивергенции ($F_{st} \geq 0,05$) между изучаемыми популяциями по локусам BMS1788, Rt1, C143, C276 и C32. В то же время значительная дивергенция ($F_{st} \geq 0,15$) наблюдается по локусу BMS745, тогда как по остальным локусам выявлена слабая дивергенция.

Оценка, основанная на коэффициенте генной дифференциации (Gst), продемонстрировала значимые различия между популяциями: максимальные достоверные расхождения были зафиксированы в локусах Rt1 ($G_{st} = 0,005$; $p \leq 0,01$), BMS745 ($G_{st} = 0,013$; $p \leq 0,01$) и C276 ($G_{st} = 0,06$; $p \leq 0,05$). Модифицированные методы стандартизированной оценки дифференциации генов по Нею и Хедрику подтвердили полученные результаты, обеспечив сопоставимые значения индексов дивергенции. Дополнительно анализ, основанный на изменчивости эффективного числа аллелей (Dest), выявил истинную аллельную дифференциацию между популяциями в локусах Rt1 ($Dest = 0,057$; $p \leq 0,01$), BMS745 ($Dest = 0,029$; $p \leq 0,01$) и C276 ($Dest = 0,009$; $p \leq 0,05$).

В целом результаты статистического анализа демонстрируют наличие достоверно значимых различий ($p \leq 0,01$) в частотах аллелей для исследуемых микросателлитных маркеров между анализируемыми выборками. Среднее значение дивергенции, рассчитанное с использованием

Рис. 2. Генетическое расстояние между сравниваемыми популяциями северных оленей, рассчитанное по Нею (DN)⁴
Fig. 2. The genetic distance between the compared populations of reindeer, calculated from (DN)⁴

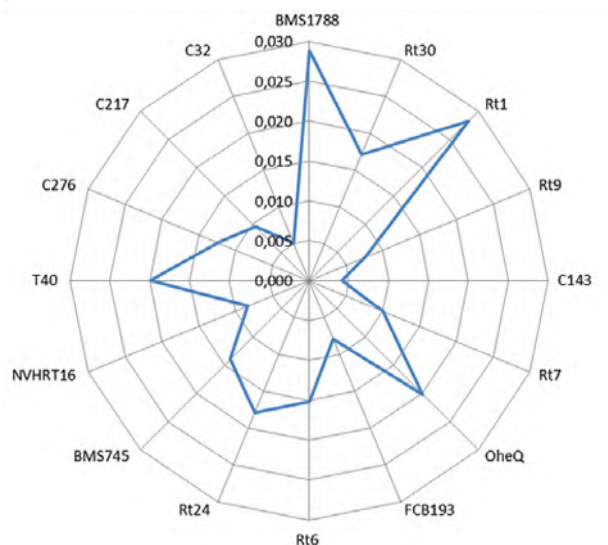


Таблица 4. Анализ генетической дивергенции между исследуемыми популяциями с применением различных статистических методов

Table 4. Analysis of the genetic divergence between the studied populations using various statistical methods

Локус	Fst	Gst	G'stN	G'stH	G'st	Dest
BMS1788	0,005	0,002	0,005	0,023	0,026	0,021
Rt30	0,003	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Rt1	0,007**	0,005**	0,010**	0,062**	0,066**	0,057**
Rt9	0,003	0,001	0,002	0,010	0,011	0,009
C143	0,005	0,003	0,005	0,006	0,009	0,004
Rt7	0,000	-0,002	-0,004	-0,011	-0,013	-0,009
OheQ	0,002	0,000	-0,001	-0,005	-0,005	-0,005
FCB193	0,001	-0,002	-0,003	-0,012	-0,014	-0,011
Rt6	0,002	0,000	0,000	-0,001	-0,002	-0,001
Rt24	0,002	0,000	-0,001	-0,004	-0,004	-0,003
BMS745	0,015**	0,013**	0,025**	0,042**	0,054**	0,029**
NVHRT16	0,002	-0,001	-0,001	-0,004	-0,005	-0,003
T40	0,004	0,001	0,002	0,009	0,011	0,008
C276	0,008*	0,006*	0,012*	0,015*	0,021*	0,009*
C217	0,004	0,001	0,003	0,010	0,012	0,009
C32	0,005	0,003	0,005	0,003	0,005	0,000
В среднем	0,004**	0,001**	0,003**	0,007**	0,009**	0,006**

Примечание: значения достоверны * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$).

различных методов, варьирует в диапазоне от 0,001 до 0,009. Эти данные подтверждают наличие генетической дифференциации между популяциями, которая обусловлена географической изоляцией, генетическим дрейфом и различными векторами естественного и искусственного отбора.

Выводы/Conclusions

Сравнительный генетический анализ двух региональных популяций северного оленя ненецкой породы уральского экотипа выявил значительное сходство по ряду анализируемых генетических

⁴ Nei M. Genetic distance between populations. Amer. Natur. 1972; 106(949): 283–292. URL: <https://www.jstor.org/stable/2459777>

маркеров. Однако установлено, что популяция PSK демонстрирует несколько более высокий уровень генетического разнообразия и гетерозиготности по сравнению с северными оленями YOS. Кроме того, выборка PSK характеризуется отрицательными значениями индекса фиксации, что указывает на минимальный уровень инбридинга, в то время как в популяции YOS наблюдается незначительное нарастание F_{is} .

Различия в индексе фиксации между двумя популяциями являются статистически значимыми ($p \leq 0,05$) и составляют 0,040. Частоты аллелей северных оленей Республики Коми в большей степени отклоняются от равновесия Харди — Вайнберга, что может быть обусловлено более интенсивным генетическим дрейфом, действием естественного и искусственного отбора и миграционными процессами, по сравнению с YOS.

Популяция PSK характеризуется меньшей консолидацией генотипов и более высокой частотой распространения частных аллелей по сравнению с YOS. Анализ генетических дистанций между популяциями показал достоверные различия — как по отдельным локусам, так и по совокупности 16 микросателлитных маркеров.

В целом можно заключить, что популяция YOS демонстрирует меньшую подверженность генетическим преобразованиям и факторам отбора, а также находится в большей изоляции от животных других популяций по сравнению с PSK. Поэтому для предотвращения негативных генетических последствий и сохранения генетического разнообразия стада YOS необходимо усилить контроль за селекционной работой и рассмотреть возможность завоза производителей из других оленеводческих хозяйств для снижения уровня инбридинга.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках государственного задания Минобрнауки России № FWRZ-2024-0002.

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FWRZ-2024-0002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухачев А.Д., Харючи Г.П., Южаков А.А. Кочующие через века: оленеводческая культура и этноэкология тундровых ненцев. Салехард; Екатеринбург: Креативная команда «Кипяток». 2010; 135. ISBN 978-5-904781-05-7 <https://www.elibrary.ru/qlbivr>
2. Южаков А.А., Романенко Т.М., Лайшев К.А. Новые знания, методы и модели в разведении, экологии и эпизоотологии северных оленей. СПб.; Пушкин: СЗЦППО. 2018; 72. ISBN 978-5-9905152-9-1 <https://www.elibrary.ru/uxxmiy>
3. Ильина Л.А. и др. Популяционная структура микробных сообществ в рубце северных оленей Российской Арктики в зимний период по данным высокопроизводительного секвенирования. *Генетика и разведение животных*. 2019; (2): 90–96. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-2-90-96>
4. Laishev K.A., Ilyina L.A., Filippova V.A., Dunyashev T.P., Laptev G.Yu., Abakumov E.V. Rumen bacterial community of young and adult of reindeer (*Rangifer tarandus*) from Yamalo-Nenets Autonomous District of Russia. *Open Agriculture*. 2020; 5(1): 10–20. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0001>
5. Южаков А.А., Мухачев А.Д., Лайшев К.А. Породы и проблемы селекции северных оленей России. М.: Наука. 2023; 151. ISBN 978-5-02-040992-7 <https://www.elibrary.ru/uxnwum>
6. Харзинова В.Р., Денискова Т.Е., Сермягин А.А., Доцев А.В., Соловьева А.Д., Зиновьева Н.А. Эволюция методов оценки биоразнообразия северного оленя (*Rangifer tarandus*) (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017; 52(6): 1083–1093. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1083rus>
7. Николаев С.В., Матюков В.С., Филатов А.В. Внутрипопуляционная генетическая дифференциация стада северных оленей Ямальской опытной станции. *Аграрная наука*. 2024; (11): 82–86. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-82-86>
8. Романенко Т.М., Митюков А.С. Экстерьерные особенности северных оленей острова Колгуев и Малоземельской тундры в сравнительном аспекте. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2011; 24: 113–118. <https://www.elibrary.ru/pgfvrf>
9. Глазко В.И. Проблемы «Селекции с помощью маркеров» (MAS). *Farm animals*. 2013; (2): 16–22. <https://www.elibrary.ru/qjczmf>

REFERENCES

1. Mukhachev A.D., Kharyuchi G.P., Yuzhakov A.A. Nomads through the centuries: reindeer herding culture and ethnoecology of the Tundra Nenets. Salekhard; Yekaterinburg: Kipyatok Creative Team. 2010; 135 (in Russian). ISBN 978-5-904781-05-7 <https://www.elibrary.ru/qlbivr>
2. Yuzhakov A.A., Romanenko T.M., Layshev K.A. New knowledge, methods and models in breeding, ecology and epizootology of reindeer. Saint Petersburg; Pushkin: Northwest Center for Interdisciplinary Problems of Food Security. 2018; 72 (in Russian). ISBN 978-5-9905152-9-1 <https://www.elibrary.ru/uxxmiy>
3. Ilyina L. et al. Population structure of microbial communities in the Russian Arctic reindeer's rumen in the winter period according to high-throughput sequencing data. *Genetics and breeding of animals*. 2019; (2): 90–96 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-2-90-96>
4. Laishev K.A., Ilyina L.A., Filippova V.A., Dunyashev T.P., Laptev G. Yu., Abakumov E.V. Rumen bacterial community of young and adult of reindeer (*Rangifer tarandus*) from Yamalo-Nenets Autonomous District of Russia. *Open Agriculture*. 2020; 5(1): 10–20. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0001>
5. Yuzhakov A.A., Mukhachev A.D., Layshev K.A. Breeds and breeding problems of reindeer in Russia. Moscow: Nauka. 2023; 151 (in Russian). ISBN 978-5-02-040992-7 <https://www.elibrary.ru/uxnwum>
6. Kharzinova V.R., Denisikova T.E., Sermyagin A.A., Dotsev A.V., Solovyova A.D., Zinovieva N.A. Evolution of the methods for estimation biodiversity in reindeer (*Rangifer tarandus*) (review). *Agricultural Biology*. 2017; 52(6): 1083–1093. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1083eng>
7. Nikolaev S.V., Matyukov V.S., Filatov A.V. Intrapopulation genetic differentiation of reindeer herd of Yamal experimental station. *Agrarian science*. 2024; (11): 82–86 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-82-86>
8. Romanenko T.M., Mityukov A.S. Exterior features of the reindeer of Kolguev Island and the Little Earth tundra in a comparative aspect. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2011; 24: 113–118 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pgfvrf>
9. Glazko V.I. Problems of "Marker-assisted breeding (MAS). *Farm animals*. 2013; (2): 16–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qjczmf>

10. Смарагдов М.Г. Тотальная геномная селекция с помощью SNP как возможный ускоритель традиционной селекции. *Генетика*. 2009; 45(6): 725–728.
<https://www.elibrary.ru/kmlmwr>
11. Федоров В.И., Румянцева Т.Д., Роббек Н.С., Слепцов Е.С., Винокуров Н.В. К вопросу адаптации северных домашних оленей эвенской породы к горно-таежной зоне северо-востока России. *Генетика и разведение животных*. 2018; (1): 115–121.
<https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-115-121>
12. Колосова О.Н., Кершенгольц Б.М. Сезонные изменения уровня эндогенных этанола и ацетальдегида в крови крупных растительноядных млекопитающих Арктики и Субарктики. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022; 27(2): 268–276 (на англ. яз.).
<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-2-268-276>
13. Николаев С.В., Матюков В.С., Филатов А.В. Изменения микросателлитного профиля в опытной стаде северных оленей ненецкой породы. *Международный вестник ветеринарии*. 2023; (3): 275–283.
<https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.3.275>

ОБ АВТОРАХ

Семён Викторович Николаев

кандидат ветеринарных наук, заведующий лабораторией северного оленеводства
semen.nikolaev.90@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>

Андрей Викторович Филатов

доктор ветеринарных наук, научный сотрудник
fav6819@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4557-844x>

Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,
ул. им. Малыгина, 86, Тюмень, 625026, Россия

10. Smaragdov M.G. Genomic selection as a possible accelerator of traditional selection. *Russian Journal of Genetics*. 2009; 45(6): 633–636.

<https://doi.org/10.1134/S1022795409060015>

11. Fedorov V.I., Romyantseva T.D., Robbek N.S., Sleptsov E.S., Vinokurov N.V. The question of the reindeer of Even breeds adaptation to the mountain taiga zone in the north-east of Russia. *Genetics and breeding of animals*. 2018; (1): 115–121 (in Russian).
<https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-115-121>

12. Kolosova O.N., Kershengolts B.M. Seasonal changes in the level of endogenous ethanol and acetaldehyde in the blood of large herbivorous mammals of the Arctic and Subarctic. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022; 27(2): 268–276.
<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-2-268-276>

13. Nikolaev S.V., Matyukov V.S., Filatov A.V. Changes in the microsatellite profile in an experimental herd of Nenets reindeer. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2023; (3): 275–283 (in Russian).

<https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.3.275>

ABOUT THE AUTHORS

Semyon Viktorovich Nikolaev

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Laboratory of Reindeer Husbandry
semen.nikolaev.90@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5485-4616>

Andrey Viktorovich Filatov

Doctor of Veterinary Sciences, Research Associate
fav6819@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4557-844x>

Federal Research Center “Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,

86 Malygin Str., Tyumen, 625026, Russia

Формирование урожайности и элементов ее структуры у сорта льна-долгунца Феникс в зависимости от минерального питания

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Современное состояние экономики в значительной мере определяет развитие сельского хозяйства, в том числе растениеводства, эффективность которого во многом зависит от правильного подбора и соотношения культур и сортов. Возрождение льняного производства и текстильной промышленности в Смоленской области — это не просто локальная задача, а стратегически важный шаг для всей России. Однако, несмотря на позитивные сдвиги, есть и проблемные моменты. Несвершенство технологий, применяемых при выращивании, уборке и первичной обработке льна, привело к снижению качества льноволокна. Если раньше сельхозтоваропроизводители получали трепаное льноволокно 14-го номера, то сейчас величина этого показателя снизилась до 9–10. Основными факторами, способствующими повышению эффективности льноводства, служат внедрение новых сортов льна-долгунца, налаживание системы семеноводства, разработка современных технологических приемов возделывания, изучение отзывчивости новых и перспективных сортов на сроки посева, нормы высева, удобрения и др.

Методы. Объектами исследований были 10 видов минеральных удобрений, рекомендуемых компанией «ФосАгро», на сорте льна-долгунца Феникс.

Результаты. Применение комплексных минеральных удобрений при выращивании льна-долгунца сорта Феникс на дерново-подзолистой почве с типичными для Смоленской области агрохимическими показателями позволило увеличить урожайность льносоломой с 4,93 до 6,96–9,49 т/га, льносемян — с 0,20 до 0,23–0,34 т/га. Наибольшую биологическую эффективность среди предложенных систем применения удобрений показали варианты с предпосевным внесением $N_{32}P_{109}K_{112}$ (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») в сочетании с проведением подкормки N_{20} (аммиачная селитра + Zn-Mo-микроудобрения) и предпосевным внесением $N_{45}P_{105}K_{105}$ (ТКУ с бором + РК-удобрение с серой и кальцием) в сочетании с проведением подкормки N_{15} (аммиачная селитра). Остальные варианты применения удобрений по урожайности льносоломой и льносемян существенно уступали наилучшему из предложенных.

Ключевые слова: лен-долгунец, сорт, минеральные удобрения, льносолома, льносемена, урожайность

Для цитирования: Романова И.Н., Перепичай М.И., Птицына Н.В., Козлов Ю.В., Мартынова К.В. Формирование урожайности и элементов ее структуры у сорта льна-долгунца Феникс в зависимости от минерального питания. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 123–130. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-123-130>

The formation of productivity and elements of its structure in the flax variety-dolgunts Phoenix, depending on the mineral nutrition

ABSTRACT

Relevance. The current state of the economy largely determines the development of agriculture, including crop production, the effectiveness of which largely depends on the correct selection and ratio of crops and varieties. The revival of linen production and the textile industry in the Smolensk region is not just a local task, but a strategically important step for the whole of Russia.

However, despite the positive developments, there are also problematic issues. The imperfection of technologies used in the cultivation, harvesting and primary processing of flax has led to a decrease in the quality of flax fiber. Previously, agricultural producers received number 14 flaxen fiber, but now the value of this indicator has decreased to 9–10. The main factors contributing to increasing the efficiency of flax production are the introduction of new varieties of flax, the establishment of a seed production system, the development of modern technological methods of cultivation, the study of the responsiveness of new and promising varieties to sowing dates, seeding rates, fertilizers, etc.

Methods. The objects of the research were 10 types of mineral fertilizers recommended by “PhosAgro” on the flax-flax Phoenix variety.

Results. The use of complex mineral fertilizers in the cultivation of flax of the Phoenix variety on sod-podzolic soil with agrochemical parameters typical of the Smolensk region made it possible to increase the yield of flax from 4.93 to 6.96–9.49 t/ha, flax seeds — from 0.20 to 0.23–0.34 t/ha. The greatest biological efficiency among the proposed fertilizer application systems was shown by options with pre-sowing application of $N_{32}P_{109}K_{112}$ (TCU with sulfur and boron + “Ammophos” + “Kalimag”) in combination with fertilizing N_{20} (ammonium nitrate + Zn-Mo micro fertilizers) and pre-sowing application of $N_{45}P_{105}K_{105}$ (TCU with boron + PK fertilizer with sulfur and calcium) in combination with top dressing N_{15} (ammonium nitrate). The other options for applying fertilizers in terms of yields of flax and flax seeds were significantly inferior to the best of the proposed ones.

Key words: flax-dolgunts, variety, mineral fertilizers, flax, flax seeds, yield

For citation: Romanova I.N., Perepichai M.I., Ptitsyna N.V., Kozlov Yu.V., Martynova K.V. The formation of productivity and elements of its structure in the flax variety-dolgunts Phoenix, depending on the mineral nutrition. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 123–130 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-123-130>

Введение/Introduction

Современное состояние экономики в значительной мере определяет развитие сельского хозяйства, в том числе растениеводства, эффективность которого во многом зависит от правильного подбора и соотношения культур и сортов [1–3].

Лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.) с давних времен выступает важнейшей культурой разностороннего использования. Несмотря на это, за последние 30 лет площади посева под культурой в стране снизились с 300 до 47 тыс. га [3–5]. Повышение эффективности льноводства состоит не только в увеличении посевных площадей, но и в повышении урожайности и качества льнопродукции (льносолома, льнотреста, льноволокно) [7, 8].

Возрождение льняного производства и текстильной промышленности в Смоленской области — это не просто локальная задача, а стратегически важный шаг для всей России. Имея собственную сырьевую базу, регион может стать локомотивом для кратного увеличения производства натуральных, синтетических и искусственных волокон в масштабах страны. Это в свою очередь позволит обеспечить отечественный промышленный комплекс необходимым объемом волокнистой льнопродукции, снижая зависимость от импорта и укрепляя экономическую безопасность страны. Развитие льняной отрасли в Смоленской области — это инвестиции в будущее российской текстильной промышленности и экономики в целом [9–13].

Однако, несмотря на позитивные сдвиги, есть и проблемные моменты. Несовершенство технологий, применяемых при выращивании, уборке и первичной обработке льна, привело к снижению качества льноволокна. Если раньше сельхозпроизводители получали трепаное льноволокно 14-го номера, то сейчас величина этого показателя снизилась до 9–10 [14, 15]. Такое снижение качества серьезно осложняет конкуренцию с мировыми производителями. Чтобы успешно конкурировать на международном рынке, необходимы адаптивные, энерго- и ресурсосберегающие технологии возделывания льна-долгунца на волокно и семена [15–18].

Многочисленные исследования подтверждают, что лен-долгунец — культура довольно требовательная к почве и климату и именно Смоленская область, благодаря своим особым природным условиям, идеально подходит для его выращивания. Это еще раз подтверждает, что в регионе уже есть прочный фундамент, на котором можно успешно развивать льноводство, возрождая традиции и создавая новые возможности для экономики [18–21].

Основными факторами, способствующими повышению эффективности льноводства, служат внедрение новых сортов льна-долгунца, налаживание системы семеноводства, разработка современных технологических приемов возделывания, изучение отзывчивости новых и перспективных

сортов на сроки посева, нормы высева, удобрения [19–23]. Понимание этого позволяет оптимизировать агротехнику и получать максимальную отдачу от новых разработок [14–16].

Цель исследований — изучить влияние различных видов и форм минеральных удобрений на рост и развитие, формирование элементов структуры урожая и урожайность льнопродукции нового сорта льна-долгунца смоленской селекции Феникс.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевой опыт проводили на опытном поле ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА» (Россия) в 2021–2023 гг. Размещение делянок — рендомизированное, повторность опыта — четырехкратная. Общая площадь делянок составляла 50 м², учетная — 40 м².

Схема опыта включала 10 систем применения минеральных удобрений при выращивании льна-долгунца на дерново-подзолистой почве с типичными для Смоленской области агрохимическими показателями.

В первом (контрольном) варианте удобрения не применяли. В остальных вариантах использовали различные сочетания широко распространенных и новых (комплексных) форм минеральных удобрений, обеспечивающих внесение NPK в соотношении 1:2:2 из расчета: азота — 50–60 кг/га, фосфора — 100–115 кг/га, калия — 100–115 кг.

2) N₂₈P₁₀₈K₁₁₄ (твердое комплексное удобрение (ТКУ) с серой и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₄ (аммиачная селитра).

3) N₃₆P₁₁₂K₁₁₄ (ПК-удобрение с серой и кальцием + «Диаммонийфосфат» + «Калимаг») + подкормка N₁₅ (аммиачная селитра).

4) N₄₅P₁₀₅K₁₀₅ (ТКУ с бором + ПК-удобрение с серой и кальцием) + подкормка N₁₅ (аммиачная селитра).

5) N₃₁P₁₁₄K₁₁₅ (ТКУ с бором и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₀ (аммиачная селитра).

6) N₃₃P₁₁₁K₁₁₄ (жидкое комплексное удобрение (ЖКУ) + «Калимаг») + подкормка N₂₀ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

7) N₂₄P₁₀₄K₁₁₄ («Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₃₀ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

8) N₂₈P₁₀₅K₁₁₄ (ПК-удобрение с серой и кальцием + «Сульфоаммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₅ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

9) N₃₀P₁₀₀K₁₀₀ (ПК-удобрение с серой и кальцием + аммиачная селитра) + подкормка N₂₂ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

10) N₃₂P₁₀₉K₁₁₂ (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N₂₀ (аммиачная селитра) + Zn-Мо-микроудобрения.

Использованные комплексные минеральные удобрения имели следующие характеристики:

ТКУ с серой и кальцием — NPK(S) 5:15:30(5) + 7CaO; ТКУ с бором — NPK(B) 15:15:15; ТКУ с бором и кальцием — NPK(Ca)(B) 5:15:30(7)(0,3); ТКУ с серой и бором — NPK(S)(B) 8:20:30(2)(0,3); РК-удобрение с серой и кальцием — РК(S)(Ca) 20:20(5)(20); ЖКУ — жидкое комплексное азотно-фосфорное удобрение с содержанием NP 11:37.

Аммофос — азотно-фосфорное удобрение с содержанием NP 12:52. «Диаммонийфосфат» и «Сульфаммофос» — азотно-фосфорные удобрения с содержанием серы NP(S) 18:46(2,5) и 14:40(7) соответственно. «Калимаг» — калийно-магниевое удобрение, содержащее 38% калия.

Подкормку аммиачной селитрой и Zn-Мо-микроудобрениями проводили в фазу «елочка». Цинк вносили из расчета 0,15 кг/га, молибден — 0,3 кг/га. Остальные минеральные удобрения применяли путем их основного внесения до посева в дозах согласно схеме опыта.

Объект исследований — растения льна-долгунца сорта Феникс.

Сорт льна-долгунца Феникс с 2018 года включен в Государственный реестр¹ по Центральному региону РФ. Позднеспелый (период вегетации — 85–86 дней), высокопродуктивный, устойчив к полеганию, не склонен к осыпанию семян. Сорт высокорослый, высота растений — 87 см. Грибными болезнями сорт поражается в слабой степени.

Погодные условия в годы исследований отличались от среднесуточных как по выпадению осадков, так и по температурному режиму. Крайне неблагоприятные условия складывались в 2021 г. (табл. 1).

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая среднеокультуренная со следующими агрохимическими показателями плодородия: реакция среды — слабокислая ($pH_{KCl} = 5,6$ ед.), содержание гумуса — 1,9%, подвижного фосфора — 160 мг/кг, подвижного калия — 140 мг/кг абсолютно сухой почвы. Мощность пахотного слоя — 20–25 см.

Определение pH солевой вытяжки из почвы проведено по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85)², содержания органического вещества — фотометрическим методом (ГОСТ 26213-2021)³, подвижных соединений фосфора и калия — по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011)⁴.

Предшественником льна-долгунца в каждый год проведения исследований выступала озимая рожь, под которую вносили минеральные удобрения (азофоску) из расчета $N_{75}P_{75}K_{75}$.

Таблица 1. Метеорологические условия за период исследований

Table 1. Meteorological conditions during the research period

Год	Показатель	Месяц					
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
2021	Средняя месячная t (°C)	16,3	12,4	18,9	21,6	18,4	10,5
	Осадки за месяц, мм	42	66	51	32	23	79
2022	Средняя месячная t (°C)	16,9	12,7	20,4	20,9	17,4	9,6
	Осадки за месяц, мм	46	68	54	40	15	98
2023	Средняя месячная t (°C)	15,4	11,8	17,5	19,8	16,0	7,5
	Осадки за месяц, мм	50	63	48	44	31	121
Климатическая норма	Средняя месячная t (°C)	6,7	12,6	16,2	17,6	18,1	11,4
	Осадки за месяц, мм	86	68	78	89	73	58

Норма высева — 20 млн всхожих семян на 1 га. Посев проводили сеялкой AMAZONE D9-3000 Super (ширина захвата 3 м) (Amazone, Франция) с междурядьями 12 см на глубину 2,0–2,5 см. Удобрения вносили согласно схеме опыта разбрасывателем минеральных удобрений РУМ 5.

Против сорняков проводили обработку посевов льна-долгунца гербицидами «Агритокс, ВК» (НУФАРМ ГмбХ & Ко КГ, Австрия) (опрыскивание посевов в фазе «елочка»: расход препарата 1,0 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га) и «Пантера, КЭ» (ЮПЛ Холдингс Кооператив Ю.А., Россия) (опрыскивание в фазе 2–4 листьев сорняков независимо от фазы развития культуры: расход препарата 0,75 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га).

От льняной блохи обрабатывали инсектицидом «Гладиатор, КЭ» (ООО «АГРОХИМ-XXI», Россия) (опрыскивание всходов: расход препарата 0,15 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га), от болезней — фунгицидом «Абига-Пик, ВС» (ООО «Сельхозхимия», Россия) (опрыскивание по всходам в фазе «елочка»: расход препарата 2,5 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га)⁵.

Учеты и наблюдения за растениями проводили согласно методике Госсорткомиссии РФ⁶. Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием MS Excel (США)⁷.

¹ Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию.

— URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionsnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy/len-dolgunets/> (дата обращения: 20.06.2025).

² ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

³ ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества.

⁴ ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

⁵ Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации 2025.

— URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (дата обращения: 15.08.2025).

⁶ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 3. Масличные, эфиромасличные, лекарственные и технические культуры, шелковица, тутовый шелкопряд / Под общ. ред. М.А. Федина. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. 1983; 192.

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Количество растений льна-долгунца перед уборкой в зависимости от форм и способов применения минеральных удобрений колебалось от 1232 до 1607 шт./м² (табл. 2), что связано с различной выживаемостью растений в период их интенсивного роста (фаза «елочка — бутонизация»), которая в целом по опыту была невысокой из-за повышенных температур в этот период (+2,2–4,0 °C к климатической норме). Густота стояния перед уборкой, как и ожидалось, была наименьшей в контрольном варианте, что связано с недостаточным обеспечением растений незаменимыми элементами минерального питания в период активного роста и развития растений.

В целом по опыту применение минеральных удобрений повысило рассматриваемый показатель на 20,1–30,4%. При этом различия между испытываемыми системами применения удобрений по величине НСР оказались несущественными. Исключение составили варианты с внесением ЖКУ или «Аммофоса» совместно с «Калимагом» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки, что, по-видимому, было связано с отсутствием серы в составе применяемых в этих вариантах удобрений.

Высота растений льна-долгунца — это важный показатель, который напрямую влияет на ценность льна. Чем выше лен, тем больше длинного волокна можно получить из его стебля, а это в свою очередь определяет, сколько продукции можно собрать с единицы площади. Высота растений льна-долгунца (особенно его техническая длина) характеризует будущую урожайность льно-соломы (содержание волокна, выход волокна и др.) и льносемян.

В настоящих исследованиях общая высота растений в зависимости от форм и способов применения удобрений изменялась от 68 до 91 см. Большинство систем удобрения улучшили рассматриваемый показатель: прибавка к контролю составила от 20,6 до 33,8%. Исключение, как и в предыдущем случае, составили варианты с внесением ЖКУ или «Аммофоса» совместно с «Калимагом» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки, а также вариант с совместным внесением ТКУ с серой и кальцием, «Аммофоса», «Калимага» и проведением

азотной подкормки, в котором растения вместе с удобрениями не получили бора, цинка и молибдена. Остальные варианты применения удобрений, превзойдя контроль, не показали существенного различия между собой по рассматриваемому показателю.

Техническая длина стебля отражает накопление и формирование волокна по всей длине стебля. Величина этого показателя изменялась от 54 см в контроле до 56–70 см в вариантах с применением удобрений. При этом достоверной прибавки по величине технической длины стебля не дал только вариант с совместным внесением ЖКУ, «Калимага» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки. Вариант с внесением «Аммофоса», «Калимага» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки в этом случае не уступал другим системам применения удобрений, что может быть связано с несколько большей дозой азота (N₃₀), внесенной при проведении подкормки растений в фазу «елочка».

Устойчивость растений льна-долгунца к полеганию — важный фактор, определяющий урожайность, особенно в условиях изменчивой погоды. Высота растений играет здесь ключевую роль [16–18]. В настоящих исследованиях сорт Феникс показал высокую устойчивость к полеганию, получив оценки в диапазоне 4,8–5,0 баллов (по 5-балльной шкале). Изучаемые системы применения удобрений не оказали заметного негативного влияния на рассматриваемый показатель.

Таблица 2. Влияние минеральных удобрений на морфологические показатели и элементы структуры урожая льна-долгунца сорта Феникс (2021–2023 гг.)

Table 2. The effect of mineral fertilizers on the morphological parameters and structural elements of the harvest of flax of the Phoenix variety (2021–2023)

№	Вариант	Высота растений, см	Техническая длина, см	Количество растений перед уборкой, шт./м ²	Число коробочек на 1 растении, шт.	Число семян в коробочке, шт.	Число семян на 1 растении, шт.
1	Контроль (без удобрений)	68	54	1232	3,4	6,2	21
2	N28P108K114 (ТКУ с серой и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N24	78	68	1480	4,2	6,5	27
3	N36P112K114 (РК-удобрение с серой и кальцием + «Диааммонийфосфат» + «Калимаг») + подкормка N15	84	68	1500	4,5	6,1	27
4	N45P105K105 (ТКУ с бором + РК-удобрение с серой и кальцием) + подкормка N15	83	64	1493	5,1	6,7	34
5	N31P114K115 (ТКУ с бором и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20	87	67	1496	4,4	6,4	28
6	N33P111K114 (ЖКУ + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	69	56	1328	4,4	5,0	22
7	N24P104K114 («Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N30 + Zn + Mo	79	65	1390	5,2	5,7	29
8	N28P105K114 (РК-удобрение с серой и кальцием + «Сульфаммофос» + «Калимаг») + подкормка N25 + Zn + Mo	85	69	1506	5,0	7,2	36
9	N30P100K100 (РК-удобрение с серой и кальцием + аммиачная селитра) + подкормка N22 + Zn + Mo	91	70	1596	4,2	5,6	24
10	N32P109K112 (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	82	68	1607	6,0	5,5	34
НСР ₀₅		12,8	8,4	183	0,7	0,8	4,5

Применение минеральных удобрений в большинстве вариантов повлияло на число семян, получаемых с одного растения, которое изменялось от 21 шт. в контрольном варианте до 22–36 шт. в вариантах с применением удобрений и зависело от числа коробочек на растении, с одной стороны, и числа семян в коробочке — с другой. Семенная продуктивность отдельно взятого растения льна-долгунца при прочих равных условиях в известной мере находится в обратной зависимости от густоты стояния посева, поэтому применение минеральных удобрений может оказывать на рассматриваемый показатель как прямое позитивное действие — через обеспечение физиологических потребностей растений необходимыми питательными элементами в период закладки генеративных органов и цветения, так и опосредованное действие, которое связано с изменением показателя выживаемости и, следовательно, густоты стояния всего посева перед уборкой.

Наибольшее количество семян с одного растения было получено в вариантах с совместным внесением ТКУ с бором, серой и кальцием и проведением азотной подкормки (4-й вариант), с совместным внесением фосфорно-калийного удобрения с серой и кальцием, «Сульфоаммофоса», «Калимага» и проведением азотно-цинково-молибденовой подкормки (8-й вариант) и с совместным внесением ТКУ с серой и бором, «Аммофосом», «Калимагом» и проведением азотно-цинково-молибденовой подкормки (10-й вариант).

Во всех рассматриваемых вариантах вместе с применяемыми удобрениями растения получали достаточное количество серы и микроэлементов: бора (как в 4-м варианте), цинка и молибдена (как в 8-м варианте) или всех перечисленных микроэлементов вместе (как в 10-м варианте). Такие условия минерального питания позволили растениям льна сформировать от 5,0 до 6,0 коробочек на одном растении с количеством семян от 5,5 до 7,2 в одной коробочке, обеспечив прибавку получаемых с одного растения семян на 61,9–71,4% по отношению к контролю или на 17,2–63,6 % — по отношению к остальным вариантам применения удобрений.

В целом применение минеральных удобрений оказало позитивное влияние на морфологические показатели и элементы структуры урожая льна-долгунца сорта Феникс. Исключение составил показатель числа семян в коробочке, оказавшийся наиболее консервативным и при использовании большинства изучаемых систем удобрения существенно не отличавшийся от контроля.

Применение минеральных удобрений повысило урожайность льносоломой и льносемян (табл. 3).

Таблица 3. Влияние минеральных удобрений на урожайность соломы и семян льна-долгунца сорта Феникс (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 3. The effect of mineral fertilizers on the yield of straw and flax seeds of the Phoenix variety (average for 2021–2023)

№	Вариант	Масса семян с растения, г	Масса одной соломины, г	Урожайность льносолом, т/га	Урожайность льносемян, т/га
1	Контроль (без удобрений)	0,16	0,40	4,93	0,20
2	N28P108K114 (ТКУ с серой и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N24	0,18	0,53	7,81	0,27
3	N36P112K114 (РК-удобрение с серой и кальцием + «Диаммонийфосфат» + «Калимаг») + подкормка N15	0,17	0,51	7,64	0,26
4	N45P105K105 (ТКУ с бором + РК-удобрение с серой и кальцием) + подкормка N15	0,22	0,62	9,25	0,33
5	N31P114K115 (ТКУ с бором и кальцием + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20	0,19	0,54	8,06	0,28
6	N33P111K114 (ЖКУ + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	0,17	0,52	6,96	0,23
7	N24P104K114 («Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N30 + Zn + Mo	0,18	0,52	7,18	0,25
8	N28P105K114 (РК-удобрение с серой и кальцием + «Сульфоаммофос» + «Калимаг») + подкормка N25 + Zn + Mo	0,21	0,59	9,02	0,32
9	N30P100K100 (РК-удобрение с серой и кальцием + аммиачная селитра) + подкормка N22 + Zn + Mo	0,19	0,57	9,08	0,30
10	N32P109K112 (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимаг») + подкормка N20 + Zn + Mo	0,21	0,59	9,49	0,34
НСР ₀₅		0,02	0,07	0,30	0,02

В вариантах с использованием только серосодержащих удобрений (без микроэлементов — 2-й и 3-й варианты), а также при проведении цинково-молибденовой подкормки при внесении комплексных удобрений, не содержащих серы (6-й и 7-й варианты), прибавка урожая льносолом по отношению к контролю составила 55,0–58,4% и 41,2–45,6% соответственно.

Существенное преимущество перед другими системами применения удобрений по рассматриваемому показателю имели варианты с использованием борсодержащих комплексных удобрений (4-й и 5-й варианты), прибавка урожая льносолом в которых составила 63,5–86,7% по отношению к контролю или 18,4–21,1 % по отношению к аналогичным вариантам без применения борсодержащих минеральных удобрений.

Проведение цинково-молибденовой подкормки обеспечило наибольшую прибавку урожайности льносолом на фоне внесения твердых комплексных серосодержащих удобрений (8-й и 9-й варианты), а также на фоне внесения ТКУ с содержанием серы и бора (10-й вариант). Прибавка по отношению к вариантам, в которых подкормку проводили на фоне внесения комплексных удобрений, не содержащих серу, составила 25,6–30,5% в первом случае и 32,2–36,4% — во втором.

Аналогичным было влияние минеральных удобрений на урожайность льносемян. Наименьшей

была прибавка урожая, полученная при проведении цинко-молибденовой подкормки на фоне комплексных удобрений, не содержащих серы (6-й и 7-й варианты). Она составила 15,0–25,0%.

Не самую высокую эффективность показали серосодержащие удобрения без микроэлементов (2-й и 3-й варианты). Прибавка урожайности льносемян при их применении составила 30,0–35,0% по отношению к контролю.

Применение борсодержащих комплексных удобрений без проведения цинко-молибденовой подкормки (4-й и 5-й варианты) позволило увеличить урожайность льносемян на 40,0–65,0%. Высокая урожайность льносемян была получена и при проведении цинко-молибденовой подкормки на фоне внесения твердых комплексных серосодержащих удобрений (8-й и 9-й варианты), а также на фоне внесения ТКУ с содержанием серы и бора (10-й вариант). Прибавка урожая по отношению к контролю в этих вариантах составила 50,0–60,0% и 70,0% соответственно.

Таким образом, наибольшая урожайность льносолемы и льносемян была получена в варианте с совместным использованием ТКУ с серой и бором, «Аммофоса», «Калимага» и проведением азотно-цинко-молибденовой подкормки в фазу «елочка». Практически не уступал ему вариант с совместным использованием ТКУ с бором, серой и кальцием и проведением азотной подкормки в ту же фазу развития растений. Особенностью обоих вариантов, отличавшей их от всех прочих изучаемых систем применения удобрений, было одно-временное присутствие в их составе серы и бора. Все остальные варианты применения удобрений существенно уступали наилучшему варианту как

по урожайности льносолемы, так и по урожайности льносемян.

Выводы/Conclusions

Применение комплексных минеральных удобрений при выращивании льна-долгунца сорта Феникс на дерново-подзолистой почве с типичными для Смоленской области агрохимическими показателями позволило увеличить урожайность льносолемы с 4,93 до 6,96–9,49 т/га, льносемян — с 0,20 до 0,23–0,34 т/га.

Введение в состав удобрений кальция (ТКУ с содержанием кальция) и магния («Калимага») не привело к позитивным сдвигам в процессе формирования элементов структуры урожая и в количестве получаемой продукции. По-видимому, это связано с конкурентными отношениями, которые возникают между ионами калия, кальция и магния при поступлении в растение; лен же, как известно, предъявляет повышенные требования к калийному питанию в период формирования урожая.

Наибольшую биологическую эффективность среди предложенных систем применения удобрений показали варианты с предпосевным внесением $N_{32}P_{109}K_{112}$ (ТКУ с серой и бором + «Аммофос» + «Калимага») в сочетании с проведением подкормки N_{20} (аммиачная селитра + Zn-Мо-микроудобрения) и предпосевным внесением $N_{45}P_{105}K_{105}$ (ТКУ с бором + РК-удобрение с серой и кальцием) в сочетании с проведением подкормки N_{15} (аммиачная селитра).

Остальные варианты применения удобрений по урожайности льносолемы и льносемян существенно уступали наилучшему из предложенных.

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 в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (регистрационный № 125031703743-6). <https://gisnauka.ru/global-search>

FUNDING

The research was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (registration No. 125031703743-6). <https://gisnauka.ru/global-search>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградова Т.А., Кудряшов Т.А., Козьякова Н.Н. Изучение состава сортов льна-долгунца по признакам, определяющим выбор эффективной технологии переработки льнотресты. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2023; (3): 5–17. <https://www.doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-5-17>
2. Пестрикова Ю.В. Особенности питания и система удобрения льна-долгунца. Почвы и их эффективное использование. *Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора, академика РАН И.Г. Юлусева*. Киров: Вятский государственный агротехнологический университет. 2024; 154–157. <https://www.elibrary.ru/bxrchy>
3. Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Применение ростостимулирующих препаратов на новом сорте льна-долгунца Феникс. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023; (1): 46–53. <https://elibrary.ru/zxiyjf>
4. Abo-Marzoka E.A., El-Borhamy Amal M.A. Response of Flax Plant to Foliar Spray by Urea and Some of Micronutrients Mixture under Different Nitrogen Levels. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2018; 63(4): 251–261.

REFERENCES

1. Vinogradova T.A., Kudryashov T.A., Kozyakova N.N. Studying the composition of linen flax variety on the signs determining the choice of an effective flax straw processing technology. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; (3): 5–17 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-5-17>
2. Pestrikova Yu.V. Nutrition features and fertilization system of flax. *Soils and their effective use. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences I.G. Yulushev*. Kirov: Vyatka State Agrotechnological University. 2024; 154–157 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bxrchy>
3. Gavrilova A.Yu., Konova A.M. Application of growth stimulators on Phoenix — a new variety of fibre flax. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; (1): 46–53 (in Russian). <https://elibrary.ru/zxiyjf>
4. Abo-Marzoka E.A., El-Borhamy Amal M.A. Response of Flax Plant to Foliar Spray by Urea and Some of Micronutrients Mixture under Different Nitrogen Levels. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2018; 63(4): 251–261.

5. Овчаренко Я.Э. Льняной подкомплекс — основные тенденции и перспективы развития. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2018; 53: 231–234. <https://www.doi.org/10.24411/2078-1318-2018-14231>
6. Глушаков С.Н. О мыкости и сбежистости льна-долгунца. *Лубяные культуры: производство и переработка. Материалы Международной научно-практической конференции*. Тверь: Идея. 2024; 139–142. <https://elibrary.ru/mfkvvw>
7. Ильина В.И. Урожайность льна-долгунца среднеспелых сортов в зависимости от элементов агротехнологии возделывания. *Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал*. 2023; 3(2): 11–17. <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2023.39.82.002>
8. Сорокина О.Ю., Кузьменко Н.Н., Ильина В.И. Эффективность жидкого хелатного удобрения форрис на посевах льна-долгунца в условиях Центрального района Нечерноземной зоны. *Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал*. 2022; 2(3): 22–27. <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2022.56.30.003>
9. Сорокина О.Ю. Управление продуктивностью льна-долгунца путем оптимизации минерального питания. *Агрохимия*. 2024; (8): 42–49. <https://www.doi.org/10.31857/S0002188124080067>
10. Кузьменко Н.Н., Сухопалова Т.П., Ильина В.И. Влияние агротехнологических элементов возделывания на продукционный процесс льна-долгунца. *Пермский аграрный вестник*. 2019; (1): 48–54. <https://elibrary.ru/iicogd>
11. Abou-Zied K.A., Sanaa S., Hassan K.H.E., Nawar A.I. Effect of Seeding Rates and Weed Control Treatments on Productivity and Weed Suppression in Flax Cultivar Sakha. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2015; 60(3): 221–228.
12. Гореева В.Н., Корепанова Е.В. Оценка продуктивности сортов льна-долгунца псковской и смоленской селекции. *Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ*. Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет. 2023; 1: 21–26. <https://elibrary.ru/efouei>
13. Bakry A.B., Nofal O., Zeidan M., Hozayn M. Potassium and Zinc in Relation to Improve Flax Varieties Yield and Yield Components as Grown under Sandy Soil Conditions. *Agricultural Sciences*. 2015; 6(1): 152–158. <https://www.doi.org/10.4236/as.2015.61013>
14. Сорокина О.Ю. Оценка ассортимента удобрений и способов их внесения под новый сорт льна-долгунца Универсал. *Аграрная наука*. 2021; (6): 55–59. <https://www.doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59>
15. Andruszczak S., Gawlik-Dziki U., Kraska P., Kwiecińska-Poppe E., Różyło K., Pałys E. Yield and quality traits of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by some agronomic factors. *Plant, Soil and Environment*. 2015; 61(6): 247–252. <https://www.doi.org/10.17221/120/2015-PSE>
16. Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Урожайность льна-долгунца и качество волокна в зависимости от возрастающих доз минеральных удобрений. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022; (2): 52–59. <https://www.doi.org/10.18286/1816-4501-2022-2-52-59>
17. Зотова В.С., Пролетова Н.В., Конова А.М. Влияние провокационных условий повышенного кислотного фона почвы на морфологические признаки растений льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.). *Аграрная наука*. 2024; (7): 119–124. <https://www.doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124>
18. Omer T.A., El-Borhamy A.M.A., Abd El-adek M.S. Effect of Harvesting rates and Seeding Rates on Yield and Yield Components of some Flax Varieties. *Journal of Plant Production*. 2020; 11(12): 1501–1505.
19. Яковлева С.В., Васильев А.С. Влияние биопрепаратов и фона минерального питания на продуктивность льна-долгунца в условиях Тверской области. *Вестник КрасГАУ*. 2020; (4): 16–23. <https://www.doi.org/10.36718/1819-4036-2020-4-16-23>
20. Korepanova E.V., Fatykhov I.Sh., Goreeva V.N., Islamova Ch.M. Assessment of fiber flax varieties according to the parameters of ecological plasticity in the conditions of the Ural region of the non-chernozem zone of Russia *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012081. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012081>
21. Haag K. *et al.* Influence of flax fibre variety and year-to-year variability on composite properties. *Industrial Crops and Products*. 2017; 98: 1–9. <https://www.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.028>
5. Ovcharenko Ya.E. Flax subcomplex — the main trends and prospects of development. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018; 53: 231–234 (in Russian). <https://www.doi.org/10.24411/2078-1318-2018-14231>
6. Glushakov S.N. About the meanness and fluidity of long-lived flax. *Best crops: production and processing. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Tver: Ideya. 2024; 139–142 (in Russian). <https://elibrary.ru/mfkvvw>
7. Ilyina V.I. Yield of fiber flax of medium-ripe varieties depending on the elements of agrotechnology of cultivation. *Technical crops. Scientific agricultural journal*. 2023; 3(2): 11–17 (in Russian). <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2023.39.82.002>
8. Sorokina O.Yu., Kuzmenko N.N., Ilyina V.I. The effectiveness of liquid chelated fertilizer Forris on flax crops in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone. *Technical crops. Scientific agricultural journal*. 2022; 2(3): 22–27 (in Russian). <https://www.doi.org/10.54016/SVITOK.2022.56.30.003>
9. Sorokina O.Yu. Managing the productivity of flax by optimizing nutrition. *Agricultural Chemistry*. 2024; (8): 42–49 (in Russian). <https://www.doi.org/10.31857/S0002188124080067>
10. Kuzmenko N.N., Sukhopalova T.P., Ilyina V.I. Influence of agrotechnological elements of cultivation on fibre flax productivity. *Perm Agrarian journal*. 2019; (1): 48–54 (in Russian). <https://elibrary.ru/iicogd>
11. Abou-Zied K.A., Sanaa S., Hassan K.H.E., Nawar A.I. Effect of Seeding Rates and Weed Control Treatments on Productivity and Weed Suppression in Flax Cultivar Sakha. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 2015; 60(3): 221–228.
12. Goreeva V.N., Korepanova E.V. Evaluation of the productivity of flax varieties of long flax from Pskov and Smolensk breeding. *Innovative solutions to strategic tasks of the agro-industrial complex. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Udmurt State Agrarian University*. Izhevsk: Udmurt State Agrarian University. 2023; 1: 21–26 (in Russian). <https://elibrary.ru/efouei>
13. Bakry A.B., Nofal O., Zeidan M., Hozayn M. Potassium and Zinc in Relation to Improve Flax Varieties Yield and Yield Components as Grown under Sandy Soil Conditions. *Agricultural Sciences*. 2015; 6(1): 152–158. <https://www.doi.org/10.4236/as.2015.61013>
14. Sorokina O.Yu. Evaluation of the range of fertilizers and methods of their application for a new variety of fiber flax Universal. *Agrarian science*. 2021; (6): 55–59 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59>
15. Andruszczak S., Gawlik-Dziki U., Kraska P., Kwiecińska-Poppe E., Różyło K., Pałys E. Yield and quality traits of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by some agronomic factors. *Plant, Soil and Environment*. 2015; 61(6): 247–252. <https://www.doi.org/10.17221/120/2015-PSE>
16. Gavrilova A.Yu., Konova A.M. Fibre flax yield and quality depending on increased doses of mineral fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2022; (2): 52–59 (in Russian). <https://www.doi.org/10.18286/1816-4501-2022-2-52-59>
13. Zotova V.S., Proletova N.V., Konova A.M. The influence of provocative conditions of increased acidity of the soil on the morphological characteristics of fiber flax plants (*Linum usitatissimum* L.). *Agrarian science*. 2024; (7): 119–124 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-119-124>
18. Omer T.A., El-Borhamy A.M.A., Abd El-adek M.S. Effect of Harvesting rates and Seeding Rates on Yield and Yield Components of some Flax Varieties. *Journal of Plant Production*. 2020; 11(12): 1501–1505.
19. Yakovleva S.V., Vasilyev A.S. The influence of biological preparations and mineral nutrition background on flax productivity in the conditions of Tver territory. *Bulletin of KrasGAU*. 2020; (4): 16–23 (in Russian). <https://www.doi.org/10.36718/1819-4036-2020-4-16-23>
20. Korepanova E.V., Fatykhov I.Sh., Goreeva V.N., Islamova Ch.M. Assessment of fiber flax varieties according to the parameters of ecological plasticity in the conditions of the Ural region of the non-chernozem zone of Russia *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012081. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012081>
21. Haag K. *et al.* Influence of flax fibre variety and year-to-year variability on composite properties. *Industrial Crops and Products*. 2017; 98: 1–9. <https://www.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.028>

22. Dmitriev A.A. *et al.* Flax (*Linum usitatissimum* L.) response to non-optimal soil acidity and zinc deficiency. *BMC Plant Biology*. 2019; 19(S1): 54.
<https://www.doi.org/10.1186/s12870-019-1641-1>
23. Andrassy M., Surina R., Butorac J. Influence of agroecological conditions on the properties of flax fibres in Croatia. *5th International Textile, Clothing and Design Conference*. 2010; 32–37.

ОБ АВТОРАХ

Ираида Николаевна Романова

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 iraidarom@yandex.ru

Марина Игоревна Перепичай

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 bibikova.m@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9381-2195>

Наталья Васильевна Птицына

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 pnatalya214019@gmail.com

Юрий Владимирович Козлов

кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 kozlov.sm@internet.ru

Ксения Викторовна Мартынова

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, садоводства, селекции, семеноводства и землеустройства
 hariton_93@mail.ru

Смоленская государственная сельскохозяйственная академия,
 ул. Большая Советская, 10/2, Смоленск, 214000, Россия

22. Dmitriev A.A. *et al.* Flax (*Linum usitatissimum* L.) response to non-optimal soil acidity and zinc deficiency. *BMC Plant Biology*. 2019; 19(S1): 54.
<https://www.doi.org/10.1186/s12870-019-1641-1>

23. Andrassy M., Surina R., Butorac J. Influence of agroecological conditions on the properties of flax fibres in Croatia. *5th International Textile, Clothing and Design Conference*. 2010; 32–37.

ABOUT THE AUTHORS

Iraida Nikolaevna Romanova

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 iraidarom@yandex.ru

Marina Igorevna Perepichai

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 bibikova.m@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9381-2195>

Natalia Vasilyevna Ptitsyna

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 pnatalya214019@gmail.com

Yuri Vladimirovich Kozlov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 kozlov.sm@internet.ru

Ksenia Viktorovna Martynova

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Horticulture, Breeding, Seed Production and Land Management
 hariton_93@mail.ru

Smolensk State Agricultural Academy,

10/2 Bolshaya Sovetskaya Str., Smolensk, 214000, Russia

УДК 633.283:631.527

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-131-137

Т.В. Асташова ✉

А.Н. Асташов

В.С. Бударина

А.А. Сафронов

М.Г. Сучкова

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», Саратов, Россия

✉ rodina008@mail.ru

Поступила в редакцию: 03.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Асташова Т.В., Асташов А.Н., Бударина В.С., Сафронов А.А., Сучкова М.Г.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-131-137

Tatiana V. Astashova ✉

Aleksandr N. Astashov

Vera S. Budarina

Alexander A. Safronov

Maria G. Suchkova

Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn "Rossorgo", Saratov, Russia

✉ rodina008@mail.ru

Received by the editorial office: 03.09.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Astashova T.V., Astashov A.N., Budarina V.S., Safronov A.A., Suchkova M.G.

Новый высокопродуктивный сорт пайзы Лада для засушливых регионов Российской Федерации

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В условиях аридизации климата пайза является перспективной кормовой культурой. Данный выбор обусловлен ее относительной засухоустойчивостью, способностью адаптироваться к экстремально высоким температурам и при этом сохранять урожайность и качество биомассы и зерна. Эти характеристики позволяют возделывать пайзу в различных регионах страны, что делает ее перспективной для агропромышленного комплекса.

Цель исследования — оценить хозяйственно ценные признаки нового сорта пайзы Лада, адаптированного для возделывания в засушливых регионах РФ.

Методы. Исследования проведены в южной части черноземной зоны Поволжья на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» с 2020 по 2023 год согласно общепринятым методическим руководствам.

Результаты. В статье изложены результаты по созданию нового сорта пайзы Лада, который прошел государственное испытание и допущен к использованию на территории Нижневолжского региона РФ с 2024 г. В ходе проведения конкурсного сортоиспытания средняя урожайность зеленой массы составила 32,1 т/га, что на 4,60 т/га превышает показатели сорта-стандарта Готика. Сорт характеризуется высокой продуктивностью и устойчивостью к абиотическому стрессору на разных этапах онтогенеза: оводненностью тканей листьев (72,3%) в период цветения растений и индексом длины корня (0,88) на начальных этапах онтогенеза. Отличается быстрым отрастанием после укосов и в условиях богары дает возможность получения до трех укосов, устойчив к полеганию. Поражение болезнями и вредителями за годы проведения исследований у пайзы сорта Лада не выявлены.

Ключевые слова: пайза, сорт, продуктивность, качество, засухоустойчивость, водный режим

Для цитирования: Асташова Т.В., Асташов А.Н., Бударина В.С., Сафронов А.А., Сучкова М.Г. Новый высокопродуктивный сорт пайзы Лада для засушливых регионов Российской Федерации. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 131–137. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-131-137>

A new highly productive variety of paiza Lada for arid regions of the Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. In the conditions of climate aridization, paiza is a promising fodder crop. This choice is due to its relative drought resistance, ability to adapt to extremely high temperatures, and at the same time to maintain the yield and quality of biomass and grain. These characteristics allow paiza to be cultivated in various regions of the country, which makes it promising for the agro-industrial complex.

The purpose of the study — to evaluate economically valuable features of a new variety of paiza Lada adapted for cultivation in arid regions of the Russian Federation.

Methods. The research was conducted in the southern part of the Chernozem zone of the Volga region at the experimental field of the Russian Research Institute of Sorghum from 2020 to 2023, according to generally accepted methodological guidelines.

Results. The article presents the results of the creation of a new variety of Lada paiza, which has passed state testing and is approved for use in the Lower Volga region of the Russian Federation starting from 2024. During the competitive variety testing, the average yield of green mass was 32.1 t/ha, which is 4.60 t/ha higher than the standard variety Gothic. The variety is characterized by high productivity and resistance to abiotic stressors at different stages of ontogenesis: leaf tissue hydration (72.3%) during flowering and root length index (0.88) at the initial stages of ontogenesis. It is characterized by rapid regrowth after mowing and allows for up to three mowing in the conditions of the rainfed area, and is resistant to lodging. No diseases or pest damage was observed in the Lada variety during the years of research.

Key words: cost, variety, productivity, quality, drought tolerance, water regime

For citation: Astashova T.V., Astashov A.N., Budarina V.S., Safronov A.A., Suchkova M.G. A new highly productive variety of paiza Lada for arid regions of the Russian Federation. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 131–137 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-131-137>

Введение/Introduction

Сельскохозяйственное производство играет ключевую роль в экономике Российской Федерации, однако значительная часть посевных площадей расположена в зоне рискованного земледелия, что обусловлено периодическими засухами различных типов. Эти климатические факторы оказывают существенное влияние на развитие аграрного сектора, требуя разработки адаптационных стратегий и инновационных подходов к землепользованию [1, 2].

Одним из перспективных направлений в агрономической науке является адаптивно-ландшафтное кормопроизводство, направленное на создание высокопродуктивных агроценозов, оптимизирующих использование биоклиматических ресурсов конкретного региона. Важнейшим аспектом данной стратегии является правильный подбор кормовых культур, характеризующихся коротким периодом вегетации, высокой морфологической адаптивностью и ценным биохимическим составом [3–6].

Просовидные культуры — древнейшие возделываемые культуры, которые начали выращивать более 5000 лет назад. Они имеют особую популярность в засушливых и полувасушливых регионах планеты. Эти растения уникальны тем, что легко приспосабливаются к бедным деградированным почвам, а также устойчивы к неблагоприятным условиям окружающей среды. Термин «просо» используется для обозначения ряда злаков и включает семь родов, в том числе и *Echinochloa*. Пайза (японское просо, дикое просо) является перспективной засухоустойчивой культурой, в основном ее выращивают в Индии, Африке, Китае, Японии и использует как в пищу, так и на корм скоту [7–10].

Однако по сравнению с усилиями, направленными на улучшение основных кормовых культур, в России пайзе уделяется недостаточное внимание. В контексте данной проблемы представляется актуальным детальное изучение пайзы, которая обладает значительным потенциалом в решении проблем продовольственной безопасности страны. Пайза (*Echinochloa frumentacea* L.) отличается высокой адаптивностью к засушливым условиям и значительным потенциалом для улучшения кормовой продуктивности в условиях ограниченного водообеспечения [11]. Характеризуется быстрым ростом и способностью формировать высокопитательную биомассу, которая охотно потребляется всеми видами животных. Зерно применяется в кормлении птицы и приготовлении концентрированных кормов. Введение данной культуры в кормовой севооборот может способствовать оптимизации структуры кормовой базы и повышению эффективности использования земельных ресурсов [12–14].

Изучение и внедрение пайзы в сельскохозяйственное производство — перспективное направление научных исследований и практической деятельности в области селекции и кормопроизводства. В связи с этим разработка новых сортов является важной задачей, способствующей повышению устойчивости и продуктивности сельскохозяйственного производства в зонах рискованного земледелия России [13, 15].

Цель исследования — оценить хозяйственно ценные признаки нового сорта пайзы Лада, адаптированного для возделывания в засушливых регионах России.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Новый сорт пайзы Лада создан в отделе многолетних и однолетних трав ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго»» и внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ¹ в 2024 г. В качестве стандарта использовали районированный по Нижневолжскому региону сорт пайзы Готика (патент от 2007 г. № 3662).

Исследования проведены в питомнике конкурсного сортоиспытания согласно методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур² в селекционном севообороте ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2020–2022 гг. Опытное поле расположено в пригородной микрорайоне Саратовского района Саратовской области и в южной части черноземной зоны Поволжья Российской Федерации.

Посев проводили в III декаде мая селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10 (ВИМ, Россия) с шириной междурядий 70 см, норма высева составила 100–120 шт. всхожих семян на 1 м². Площадь делянок — 25 м², повторность четырехкратная.

Подготовка опытного участка перед посевом включала боронование и две предпосевные культивации. Для уничтожения сорных растений в фазу кущения проведены две междурядные обработки почвы. Учет урожая зеленой массы проводили вручную в 4-кратной повторности на учетных делянках (1 м²) с последующим взвешиванием на электронных весах. Учет и уборку урожая зерна проводили селекционным комбайном Terrior 2000 (АО «Тамбовспецмаш», Россия).

Почва опытного участка — чернозем южный, механический состав — тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 3,0–4,0%, нитратного азота — 3,0–4,5 мг, подвижного фосфора — 3–4 мг, обменного калия — 15–21 мг на 100 г почвы. Реакция почвенной среды pH = 7,0–7,3.

¹ Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Сорта растений (официальное издание). М.: Росинформагротех. 2025; 1: 631.

² Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва. 1989; 194.

Определение нитратов проводили ионометрическим методом согласно ГОСТ 26951-86³, подвижных соединений фосфора и калия — по методу Мачигина в соответствии с ГОСТ 26205-91⁴

По общим характеристикам климат зоны проведения исследований резко континентальный, засушливый с резко меняющейся погодой от года к году. Для данной климатической зоны характерно частое проявление почвенных и воздушных засух. Температурный режим и условия влагообеспеченности неоднородны. Среднегодовая сумма осадков варьирует от 250 до 450 мм [16].

Анализ гидротермических показателей по Г.Т. Селянинову⁵ за вегетационный период пайзы в условиях зоны выращивания выявил нисходящий тренд индекса ГТК: 2020 г. — 0,79, 2021 г. — 0,77, 2022 г. — 0,71, 2023 г. — 0,69, что относит регион к засушливым территориям.

Биохимический анализ зеленой массы и зерна определяли в соответствии с общепринятыми методиками: содержание протеина — по ГОСТ 10846-91⁶, жир — по ГОСТ 13496.15-2016⁷, золу — методом сухого озоления по ГОСТ 26226-95⁸, клетчатку — по ГОСТ 13496.2-91⁹. Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) рассчитывали по разности, которая определяется вычитанием из 100 частей корма процента сырой золы, сырого протеина, сырого жира и сырой клетчатки.

В 2021–2023 годах в лабораторных условиях проведены исследования по изучению относительной засухоустойчивости пайзы. Изучение водного режима листьев пайзы является наиболее информативным из лабораторно-полевых методов оценки засухоустойчивости растений¹⁰. Пробы листьев отбирали в фазу цветения у пяти растений в двукратной повторности. По относительной засухоустойчивости проведена классификация

сортов пайзы согласно шкале оценки параметров водного режима листьев (табл. 1) [17].

Исследование засухоустойчивости пайзы в лабораторных экспериментах к осмотическому стрессу проведено с использованием индекса длины корешков (ИДК) — величины отношения усредненной длины корешков проростков, выращенных на провокационном фоне (засуха), к контрольным значениям, позволяющей учесть степень замедления роста корней растений, подвергнутых стрессорным воздействиям.

Согласно значениям индекса выделяют три группы: высокоустойчивая (ИДК > 0,8), устойчивая (ИДК 0,60–0,80) и среднеустойчивая (ИДК 0,40–0,59) к осмотическому стрессу [18].

Обработка экспериментальных данных выполнена методами дисперсионного анализа с использованием программы статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS версии 2.09¹¹. В статистическом анализе выборки использовали показатели, которые характеризуют изменчивость данных и точность оценки среднего значения — коэффициент вариации ($V, \%$) и ошибку средней ($S\bar{x}$).

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

В ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» выведен новый сорт пайзы Лада. Сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации с 2024 г. и допущен к использованию в Нижневолжском регионе (8). Авторские права на сорт защищены патентом от 19 апреля 2024 года № 13539¹².

Данный сорт выведен методом многократных индивидуальных и групповых отборов. 2017

Таблица 1. Шкала оценки параметров водного режима листьев для определения засухоустойчивости (Павловская опытная станция ВИР)

Table 1. Scale for assessing leaf water regime parameters to determine relative drought resistance (Pavlovskaya Experimental Station of VIR)

Оценка засухоустойчивости	Оводненность листьев, %	Водный дефицит, %	Потеря воды листьями после увядания, %	Средняя потеря воды за 1 ч. увядания, %
Низкая	59,5 и менее	20,1 и более	50,1 и более	11,1 и более
Средняя	60,0–69,9	10,1–20,0	30,1–50,0	10,1–11,0
Высокая	70,0 и более	до 10,0	до 30,0	до 10,0

³ ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Государственный стандарт СССР. 1986; 10.

⁴ ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР. 1991; 10.

⁵ Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. 1928; 20: 165–177.

⁶ ГОСТ 10846-91 Метод определения белка. Зерно и продукты его переработки. Издание официальное. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР. 1991; 11.

⁷ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. М.: Стандартинформ. 2020; 11.

⁸ ГОСТ 26226-95 Метод определения сырой золы. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Издание официальное. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1995; 8.

⁹ ГОСТ 13496.2-91 Метод определения сырой клетчатки. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Издание официальное. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР. 1991; 10.

¹⁰ Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: Методическое руководство / Г.В. Удовенко. Ленинград. 1988; 226.

¹¹ Пакет программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS, версия 2.09. Тверь. 1999; 90.

¹² Астахов А.А., Кондаков К.С., Родина Т.В., Сафронов А.А., Тамбовцева Н.Р. Патент на селекционное достижение: сорт (Echinochloa frumentacea Link) пайзы Лада от 19.04.2024 года № 13539.

год — начало селекционной работы и отбор элитного растения. С 2019 по 2022 г. проведено изучение в малом и конкурсном станционном испытании.

Пайза сорта Лада характеризуется прямостоячим кустом и сильной кустистостью — от 3 до 10 стеблей (рис. 1). Стебель формируется округло-плоской формы и имеет среднюю толщину, длинный и сочный. Цвет листьев светло-зеленый, листья удлинненно-ланцетной формы. Метелка конусовидная, длина варьирует от 11 до 18 см, наклоненная и отличается средней плотностью. Колосковые чешуи при созревании отличаются светло-коричневой окраской, антоциановая окраска отсутствует.

Сорт пайзы Лада характеризуется отсутствием остей и щетинок. Зерновка округлая, цветковые пленки после созревания зеленовато-серого окраса. Диапазон варьирования массы 1000 семян составляет от 3,3 до 3,6 г.

Новый сорт пайзы Лада превосходит районированный сорт Готика по питательной ценности зеленой массы, урожаю биомассы и зерна, устойчив к полеганию (табл. 2). Урожайность зеленой массы и семян нового генотипа пайзы в среднем за 2020–2022 гг. испытаний составила 32,1 т/га и 2,80 т/га соответственно, при этом превышение над стандартным сортом было достоверным — 4,60 т/га и 0,57 т/га соответственно.

Продолжительность периода от всходов до созревания у сорта Лада составила 105 дней, что на 5 дней короче в сравнении с сортом-стандартом Готика. Высота растений перед уборкой у нового генотипа составила 164,8 см, различие по изучаемому показателю между сортом-стандартом и новым генотипом было существенным. Поражение болезнями и повреждение вредителями за годы проведения исследований у пайзы не выявлены.

Оценка химического состава зеленой массы показала, что содержание сырого протеина было на высоком уровне и составило 9,05%, что

Рис. 1. Новый сорт пайзы Лада: общий вид в поле в фазу молочной (а) и полной (б) спелости, метелка (в). Фото авторов

Fig. 1. A new variety of paiza Lada: general view in the field during the phase of milk (a) and full (b) ripeness, panicle (c). Photo by the authors

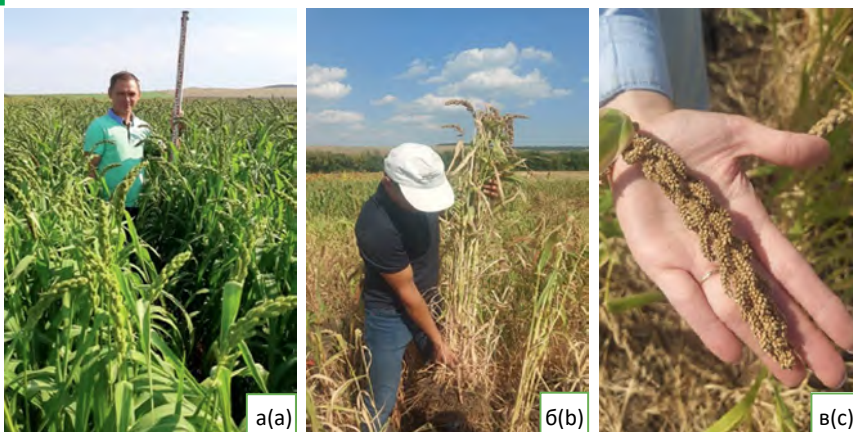


Таблица 2. Выраженность хозяйственных и биологических свойств у нового сорта пайзы Лада в сравнении со стандартом, 2020–2022 гг.

Table 2. The expression of economic and biological properties in the new Lada variety in comparison with the standard, 2020–2022

Показатели	Сорт		$\pm$ к Готике	$S\bar{x}$	V, %	НСР ₀₅
	Лада	Готика, стандарт				
Урожайность зеленой массы, т/га	32,10	27,50	+4,60	2,30	10,92	0,38
Выход сухого вещества, т/га	11,07	9,21	+1,86	0,93	12,97	0,15
Урожайность семян, т/га	2,90	2,33	+0,57	0,29	15,41	0,04
Масса 1000 семян, г	3,53	3,10	+0,43	0,22	9,17	0,05
<i>Биохимический состав зеленой массы, %:</i>						
сырой протеин	9,05	7,60	+1,45	0,73	12,32	0,12
сырая клетчатка	28,50	29,77	-1,27	0,63	3,08	0,11
сырая зола	7,38	7,45	-0,07	0,04	0,67	–
сырой жир	1,67	1,81	-0,14	0,07	5,69	0,01
БЭВ*	53,40	53,37	+0,03	0,02	0,04	–
<i>Биохимический состав семян, %:</i>						
сырой протеин	14,80	13,53	+1,27	0,64	6,34	0,11
сырая клетчатка	8,83	9,20	-0,17	0,19	2,90	0,03
сырая зола	4,29	4,95	-0,66	0,33	10,10	0,06
сырой жир	4,78	4,63	+0,15	0,08	2,25	0,02
БЭВ*	67,30	67,63	-0,33	0,16	0,35	0,03
Высота растений перед уборкой, см	164,83	146,90	+17,93	8,97	8,14	1,47
Облиственность, %	49,57	42,90	+6,67	3,34	10,20	0,55
<i>Продолжительность периода, дн.:</i>						
от всходов до выметывания	58	59	-1,0			
от выметывания до созревания	37	32	+5,0			
от всходов до созревания	105	110	-5,0			
Устойчивость к полеганию, балл	5	5	–			

Примечание: * БЭВ — безазотистые экстрактивные вещества.

на 11,5% выше показателя сорта-стандарта, при этом в семенах данный показатель отмечен на уровне 14,8%. Сорт рекомендуется для возделывания на зеленый корм и семена, при этом высокая облиственность, достигающая 50%, и не желтеющие до конца вегетации листья позволяют использовать пайзу на зеленую массу до глубокой осени. В целях получения более качественного и питательного корма на зеленую массу лучше убирать в начале выметывания метелки, на силос — при полном выметывании. Сорт отличается

быстрым отрастанием после укусов и в условиях богары дает до трех укусов в зависимости от региона выращивания.

Одна из первостепенных задач селекционной науки — создание сортов растений, обладающих повышенной засухоустойчивостью. Информативным методом оценки засухоустойчивости растений в полевых условиях является определение водного баланса, изучение которого связано с физиологическими параметрами, такими как водный дефицит, оводненность тканей листьев, их водоудерживающая способность.

В результате комплексного подхода устойчивости к засухе нового сорта пайзы Лада в лабораторных условиях было выявлено, что данный сорт обладает высоким адаптационным потенциалом для выращивания в регионах РФ с недостаточным увлажнением. Так, за три года проведения исследований по основным параметрам водного режима листьев пайза Лада показала высокий уровень засухоустойчивости. В период проведения исследования погодные условия были типичными для Саратовской области и отличались жаркими летними периодами, что позволило проверить реакцию нового сорта пайзы к высоким температурам.

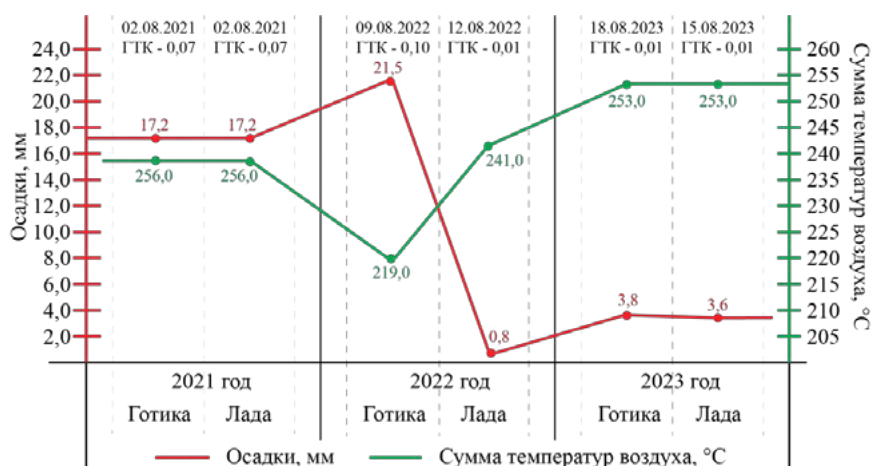
Проведенный анализ климатических условий за 10 дней до цветения пайзы (за три года исследований) свидетельствует о том, что цветение проходило в условиях сильной засухи — это подтверждается низким значением гидротермического коэффициента (рис. 2). В ходе эксперимента было установлено, что в 2021 г. новый сорт и сорт-стандарт вступили в фазу цветения в один и тот же день — 2 августа. В 2022 и 2023 годах разница в датах составила три дня — 15 августа и 18 августа соответственно.

Согласно шкале оценки параметров водного режима листьев по показателям оводненности тканей в среднем за 2021–2023 гг. установлено, что новый сорт пайзы Лада и сорт-стандарт получили высокую оценку засухоустойчивости (табл. 3). Необходимо отметить, что в формирование данного признака вклад фактора «условия года» проведения исследований составил более 70% по годам проведения эксперимента. Так, наименьшие значения выявлены в 2021 г. (67,09%) по сравнению с 2022–2023 гг. (73,35–74,50%).

Хотелось бы отметить, что по водному дефициту сорт пайзы Лада соответствует средней засухоустойчивости, что, однако, всего на 2,4% ниже показателя для получения высокой оценки по данной методике (высокая степень засухоустойчивости соответствует показателю от 20,1%).

Рис. 2. Климатические условия за 10 дней до цветения пайзы

Fig. 2. Climatic conditions 10 days before the flowering of the rose



В ходе проведения лабораторных экспериментов по изучению проращивания семян пайзы на растворах сахарозы с разным осмотическим давлением подтвержден высокий уровень засухоустойчивости. Проведены исследования по определению группы устойчивости пайзы к осмотическому стрессу по показателю индекса длины корня (ИДК), где сорт Лада демонстрирует высокий уровень засухоустойчивости (в среднем ИДК = 0,88) (табл. 4).

Стоит отметить, что оценка влияния различного осмотического давления раствора сахарозы (от 6 до 18 атм) на характер развития первичных

Таблица 3. Степень адаптивности к температурным стрессам по параметрам водного режима листьев сорта пайзы Лада в сравнении с сортом-стандартом, 2021–2023 гг.

Table 3. The degree of adaptability to temperature stresses according to the parameters of the water regime of the leaves of the Paizi Lada variety in comparison with the standard variety, 2021–2023

Сорт	Оводненность тканей (ОТ)	Водный дефицит (ВД)	Водоудерживающая способность (ВС)	Степень засухоустойчивости		
				ОТ	ВД	ВС
Лада	72,3	19,6	83,9	В	С	В
Готика, стандарт	71,1	14,8	81,5	В	С	В

Примечание: В — высокая, С — средняя, Н — низкая.

Таблица 4. Изменчивость индекса длины корня пайзы в зависимости от осмотического давления раствора сахарозы, 2021–2023 гг.

Table 4. Variability of the root length index of picea depending on the osmotic pressure of the sucrose solution, 2021–2023

Сорт	Осмотическое давление, атм					Среднее	Степень засухоустойчивости
	6	9	12	15	18		
Лада	0,96	0,90	0,88	0,80	0,84	0,88	В
Готика, стандарт	0,72	0,80	0,63	0,65	0,72	0,70	У

Примечание: В — высокоустойчивый, У — устойчивый.

проростков и корешков изученных образцов позволила установить определенные закономерности при проращивании семян. Так, на формирование и развитие проростков и корешков вариант сахарозы с осмотическим давлением в 12 атм оказал пороговое влияние, дальнейший рост давления осмотика приостановил реакцию развития корешков на воздействие среды.

Выявленная закономерность свидетельствует о целесообразности использования раствора сахарозы с осмотическим давлением 12 атм в данном методе исследования, так как ранее для пайзы данный показатель не установлен.

Выводы/Conclusions

В ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго

и кукурузы «Россорго» создан новый сорт пайзы Лада, который включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации с 2024 г., допущен к использованию в производстве по Нижневолжскому региону (8) и рекомендован для возделывания на зеленый корм и семена.

Сорт пайзы Лада характеризуется высокой продуктивностью (30,0–32,5 т/га надземной биомассы, 2,96 т/га семян), обладает высокими качествами биомассы и семян с содержанием сырого протеина — 9,08% и 14,08% соответственно, устойчивостью к полеганию (5 баллов) и абиотическому стрессору на разных этапах онтогенеза — оводненностью тканей листьев (72,3%) в период цветения растений и индексом длины корня (0,88) на начальных этапах онтогенеза.

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 в рамках тематического плана ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго» согласно госзаданиям № 1022051800004-7 и № 1022051600016-8 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

FUNDING

The work was carried out within the framework of the thematic plan of the Federal State Budgetary Institution «Russian Scientific Research and Design Technological Institute of Sorghum and Corn «Rossorgo» according to state assignments No. 1022051800004-7 and No. 1022051600016-8 of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шайтура С.В., Сумзина Л.В., Томашевская Н.Г., Филимонов С.Л., Минитаева А.М. Аграрный сектор в контексте глобального изменения климата. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (4): 18–24. <https://elibrary.ru/yrgyzuwo>
2. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Ашабокова М.Б. Об одной модели снижения рисков от засух в сельском хозяйстве. *Наука. Инновации. Технологии*. 2023; (4): 155–176. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.4.7>
3. Шкодина Е.П., Балун О.В. Агроэкологические испытания нетрадиционных для Новгородского региона однолетних кормовых культур для укрепления кормовой базы в Нечерноземной зоне. *Аграрная наука*. 2023; (1): 56–60. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-56-60>
4. Косолапов В.М., Чернявских В.И., Костенко С.И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021; 25(4): 401–407 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.18699/VJ21.044>
5. Чебатарева А.П. Агробиологическая оценка сорговых и просовидных культур в условиях лесостепи Приобья Алтайского края. *Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета*. 2023; (1): 33–36. <https://elibrary.ru/qitstin>
6. Kibalin O.P., Sazonova I.A., Bochkareva Yu.V., Bychkova V.V., Semin D.S. Influence of Abiotic Stresses on Morphophysiological Characteristics and Biological Value of Grain *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *International Journal of Plant Biology*. 2023; 14(1): 150–161. <https://doi.org/10.3390/ijpb14010013>
7. Bhinda M.S. et al. Genetics, breeding, and genomics of Indian barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*): status and perspectives. Farooq M., Siddique K.H.m. (eds.). *Neglected and Underutilized Crops*. Academic Press. 2023; 115–135. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90537-4.00017-X>
8. Gupta A., Mahajan V., Kumar M., Gupta H.S. Biodiversity in the barnyard millet (*Echinochloa frumentacea* Link, Poaceae) germplasm in India. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2009; 56(6): 883–889. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9462-y>
9. Suri S., Dutta A., Shahi N.C., Singh A., Raghuvanshi R.S., Chopra C.S. Formulation, process optimization, and quality evaluation of barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*)-based ready-to-eat (RTE) extruded snack. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46(11): e16936. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16936>

REFERENCES

1. Shaytura S.V., Sumzina L.V., Tomashevskaya N.G., Filimonov S.L., Minitaeva A.M. Agricultural sector in the context of global climate change. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2021; (4): 18–24 (in Russian). <https://elibrary.ru/yrgyzuwo>
2. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Ashabokova M.B. On a Model for Drought Risk Reduction in Agriculture. *Science. Innovations. Technologies*. 2023; (4): 155–176 (in Russian). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.4.7>
3. Shkodina E.P., Balun O.V. Agro-ecological tests of annual fodder crops unconventional for the Novgorod region to strengthen the forage base in the Non-Chernozem zone. *Agrarian science*. 2023; (1): 56–60 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-56-60>
4. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I., Kostenko S.I. Fundamentals for forage crop breeding and seed production in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25(4): 401–407. <https://doi.org/10.18699/VJ21.044>
5. Chebatarev A.P. Agrobiological evaluation of sorghum and millet crop varieties under the conditions of the forest-steppe of the Altai region's Ob river area. *Vestnik molodezhnoy nauki Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; (1): 33–36 (in Russian). <https://elibrary.ru/qitstin>
6. Kibalin O.P., Sazonova I.A., Bochkareva Yu.V., Bychkova V.V., Semin D.S. Influence of Abiotic Stresses on Morphophysiological Characteristics and Biological Value of Grain *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *International Journal of Plant Biology*. 2023; 14(1): 150–161. <https://doi.org/10.3390/ijpb14010013>
7. Bhinda M.S. et al. Genetics, breeding, and genomics of Indian barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*): status and perspectives. Farooq M., Siddique K.H.m. (eds.). *Neglected and Underutilized Crops*. Academic Press. 2023; 115–135. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90537-4.00017-X>
8. Gupta A., Mahajan V., Kumar M., Gupta H.S. Biodiversity in the barnyard millet (*Echinochloa frumentacea* Link, Poaceae) germplasm in India. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2009; 56(6): 883–889. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9462-y>
9. Suri S., Dutta A., Shahi N.C., Singh A., Raghuvanshi R.S., Chopra C.S. Formulation, process optimization, and quality evaluation of barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*)-based ready-to-eat (RTE) extruded snack. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46(11): e16936. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16936>

10. Rana S., Agnihotri V., Anjum S., Bhandari N.S. Effect of dehulling, roasting, and cooking on the nutritional composition of Himalayan barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*). *JSFA Reports*. 2023; 3(5): 196–206.
<https://doi.org/10.1002/jsf2.111>
11. Родина Т.В., Асташов А.Н., Пронудин К.А. Водный режим сортообразцов пайзы в условиях Нижнего Поволжья. *Нива Поволжья*. 2023; (4): 1007.
<https://doi.org/10.36461/NP.2023.68.4.008>
12. Шамшитова Д.С., Муштатенко Е.В., Садыгова М.К., Башинская О.С., Асташов А.Н. Ресурсный потенциал зерна пайзы саратовской селекции. *Сурский вестник*. 2023; (1): 74–78.
https://doi.org/10.36461/2619-1202_2023_01_013
13. Зотиков В.И., Вилунов С.Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021; 25(4): 381–387 (на англ. яз.).
<https://doi.org/10.18699/VJ21.041>
14. Mabhaudhi T. et al. Mainstreaming Underutilized Indigenous and Traditional Crops into Food Systems: A South African Perspective. *Sustainability*. 2019; 11(1): 172.
<https://doi.org/10.3390/su11010172>
15. Govanakoppa N., Jagadeesh B.R., Anitha S., Jakir Hussain K.N. Recombinant Breeding in Barnyard Millet (*Echinochloa frumentacea* L.): Pioneering High-yield Varieties for Sustainable Agriculture. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024; 30(11): 826–833.
<https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i112610>
16. Левицкая Н.Г., Шаталова О.В., Иванова Г.Ф. Обзор средних и экстремальных характеристик климата Саратовской области во второй половине XX в. — начале XXI в. *Аграрный вестник юго-востока*. 2009; (1): 30–33.
<https://elibrary.ru/wmvnnd>
17. Добренкова Л.Г., Гончарова Э.А., Мажоров Е.В. (сост.). Засухоустойчивость сортов земляники ананасной в условиях северо-запада РСФСР и Краснодарского края (физиологическая оценка). *Каталог мировой коллекции ВИР*. Ленинград. 1989; 502: 20.
<https://elibrary.ru/yizijz>
18. Семенова Е.В., Косарева И.А. Диагностика засухоустойчивости образцов гороха (*Pisum sativum* L.) из коллекции ВИР. *Биотехнология и селекция растений*. 2021; 4(2): 5–14.
<https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-01>

ОБ АВТОРАХ

Татьяна Владимировна Асташова
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
rodina008@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6670-417x>

Александр Николаевич Асташов
кандидат сельскохозяйственных наук,
главный научный сотрудник
alex-astashov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2744-9428>

Вера Сергеевна Бударина
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
v.plaksina88@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Александр Александрович Сафронов
научный сотрудник
alex.safronov.agro64@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3471-8331>

Мария Геннадиевна Сучкова
младший научный сотрудник
drugina.mari@internet.ru
<https://orcid.org/0009-0002-8447-335X>

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго»,
1-й Институтский проезд, 4, Саратов, 410050, Россия

10. Rana S., Agnihotri V., Anjum S., Bhandari N.S. Effect of dehulling, roasting, and cooking on the nutritional composition of Himalayan barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*). *JSFA Reports*. 2023; 3(5): 196–206.
<https://doi.org/10.1002/jsf2.111>

11. Rodina T.V., Astashov A.N., Pronudin K.A. The water regime of Japanese millet varieties in the conditions of the Lower Volga region. *Niva Povolzhya*. 2023; (4): 1007 (in Russian).
<https://doi.org/10.36461/NP.2023.68.4.008>

12. Shamshitova D.S., Mushtatenko E.V., Sadygova M.K., Bashinskaya O.S., Astashov A.N. Resource potential of grain payza of Saratov selection. *Surskiy vestnik*. 2023; (1): 74–78 (in Russian).
https://doi.org/10.36461/2619-1202_2023_01_013

13. Zotikov V.I., Vilyunov S.D. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25(4): 381–387.
<https://doi.org/10.18699/VJ21.041>

14. Mabhaudhi T. et al. Mainstreaming Underutilized Indigenous and Traditional Crops into Food Systems: A South African Perspective. *Sustainability*. 2019; 11(1): 172.
<https://doi.org/10.3390/su11010172>

15. Govanakoppa N., Jagadeesh B.R., Anitha S., Jakir Hussain K.N. Recombinant Breeding in Barnyard Millet (*Echinochloa frumentacea* L.): Pioneering High-yield Varieties for Sustainable Agriculture. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024; 30(11): 826–833.
<https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i112610>

16. Levitskaya N.G., Shatalova O.V., Ivanova G.F. Review of average and extreme characteristics of the Saratov region climate in second half of XX — beginning of XXI century. *Agrarian reporter of South-East*. 2009; (1): 30–33 (in Russian)
<https://elibrary.ru/wmvnnd>

17. Dobrenkova L.G., Goncharova E.A., Mazhorov E.V. (comps.). Drought tolerance of pineapple strawberry varieties in the north-west of the RSFSR and the Krasnodar Territory (physiological assessment). *Catalog of the VIR world collection*. Leningrad. 1989; 502: 20 (in Russian).
<https://elibrary.ru/yizijz>

18. Semenova E.V., Kosareva I.A. Evaluation of the drought resistance of pea (*Pisum sativum* L.) from the VIR collection. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021; 4(2): 5–14 (in Russian).
<https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-01>

ABOUT THE AUTHORS

Tatiana Vladimirovna Astashova
Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
rodina008@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6670-417x>

Aleksander Nikolaevich Astashov
Candidate of Agricultural Sciences,
Chief Researcher
alex-astashov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2744-9428>

Vera Sergeevna Budarina
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
v.plaksina88@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Alexander Alexandrovich Safronov
Research Associate
alex.safronov.agro64@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3471-8331>

Maria Gennadievna Suchkova
Junior Research Assistant
drugina.mari@internet.ru
<https://orcid.org/0009-0002-8447-335X>

Russian Scientific Research and Design Technology Institute
of Sorghum and Corn “Rossorgo”,
4 1st Institutsky Passage, Saratov, 410050, Russia

О.А. Брагина ✉

М.Д. Говердовская

И.А. Лыско

Л.В. Есаулова

Федеральный научный центр риса,
Краснодар, Россия

✉ olesya.bragina.1984@mail.ru

Поступила в редакцию: 07.08.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Брагина О.А., Говердовская М.Д.,
Лыско И.А., Есаулова Л.В.

Olesya A. Bragina ✉

Maria D. Goverdovskaya

Irina A. Lysko

Lubov V. Esaulova

Federal Scientific Center of Rice,
Krasnodar, Russia

✉ olesya.bragina.1984@mail.ru

Received by the editorial office: 07.08.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Bragina O.A., Goverdovskaya M.D.,
Lysko I.A., Esaulova L.V.

Пирикулярриоз риса: мониторинг, прогноз распространения в Краснодарском крае

РЕЗЮМЕ

Пирикулярриоз (возбудитель — аскомицетный гриб *Pyricularia oryzae* Cav.) — самая опасная и вредоносная болезнь риса, широко распространенная в большинстве рисосеющих регионов мира, включая Россию. В течение 10 лет (2013–2022 гг.) проводили мониторинг состояния посевов риса в рисосеющих хозяйствах Краснодарского края. На инфекционном участке при искусственном заражении были изучены иммунологические свойства 13 158 сортообразцов, переданных селекционерами ФГБНУ «Федеральный научный центр риса» и УНУ «Коллекции генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур». Оценку устойчивости осуществляли по 10-балльной шкале Международного института риса (IRRI) с применением методов визуальной и иммунологической диагностики, а также фитопатологического наблюдения. Установлены диапазоны и оптимальные значения экологических факторов, способствующих различным стадиям жизненного цикла *Pyricularia oryzae*. Показано, что для эффективного прорастания конидий, формирования апрессориев и проникновения патогена в ткани растения ключевое значение имеют температура в пределах 25–28 °С, относительная влажность воздуха (выше 89%) и продолжительное увлажнение листовой поверхности (не менее 6 часов). Анализ показал, что среди изученных сортообразцов устойчивыми к пирикулярриозу являются 11,3% образцов, среднеустойчивыми — 38,4%, восприимчивыми — 50,3%. В работе представлена количественная прогнозная модель, отражающая трансформацию сортового состава риса, классифицированного по уровню устойчивости к грибу *Pyricularia oryzae*, которая служит научной основой для разработки адаптивной селекционной стратегии. Особое значение в этой стратегии принадлежит селекции устойчивых сортов, обеспечивающих встроенную защиту, снижающую потребность в химических фунгицидах и способствующую получению стабильного урожая. Перспективным направлением является создание генотипов, несущих R-гены широкого спектра устойчивости.

Ключевые слова: пирикулярриоз риса, мониторинг, сортообразец, устойчивость, патоген, инфекционный питомник, конидии

Для цитирования: Брагина О.А., Говердовская М.Д., Лыско И.А., Есаулова Л.В. Пирикулярриоз риса: мониторинг, прогноз распространения в Краснодарском крае. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 138–146.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-138-146>

Rice pyriculariasis: monitoring, prognosis of its spread in the Krasnodar Territory

ABSTRACT

Blast (causative agent — ascomycete fungus *Pyricularia oryzae* Cav.) is the most dangerous and harmful disease of rice, widespread in most rice-growing regions of the world, including Russia. For 10 years (2013–2022), the condition of rice crops was monitored in rice-growing farms of the Krasnodar Territory. At the infection site, under artificial infection, the immunological properties of 13,158 variety samples transferred by breeders of the Federal Rice Research Center and the Collection of Genetic Resources of Rice, Vegetable and Melon Crops were studied. The resistance was assessed on a ten-point scale of the International Rice Institute (IRRI) using visual and immunological diagnostics, as well as phytopathological observation. The ranges and optimal values of environmental factors contributing to various stages of the *Pyricularia oryzae* life cycle were established. It has been shown that for the effective germination of conidia, the formation of apressoria and the penetration of the pathogen into plant tissues, the temperature in the range of 25–28 °C, relative humidity (above 89%) and prolonged moistening of the leaf surface (at least 6 hours) are of key importance. The analysis showed that among the studied variety samples, 11.3% are resistant to blast, 38.4% are moderately resistant, and 50.3% are susceptible. The paper presents a quantitative predictive model reflecting the transformation of the varietal composition of rice classified by the level of resistance to the fungus *Pyricularia oryzae*, which serves as a scientific basis for the development of an adaptive breeding strategy. Of particular importance in this strategy is the selection of resistant varieties that provide built-in protection, reducing the need for chemical fungicides and contributing to a stable yield. A promising direction is the creation of genotypes carrying R-genes of a wide range of resistance.

Key words: rice blast, monitoring, variety, resistance, pathogen, infectious nursery, conidia

For citation: Bragina O.A., Goverdovskaya M.D., Lysko I.A., Esaulova L.V. Rice pyriculariasis: monitoring, prognosis of its spread in the Krasnodar Territory. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 138–146 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-138-146>

Введение/Introduction

Рис (*Oryza sativa* L.) является одной из ключевых продовольственных культур, обеспечивающих основу питания более чем для половины населения планеты. Однако его продуктивность систематически снижается под воздействием биотических и абиотических стрессов.

Особое место среди биотических факторов занимает пирикулярриоз — грибковое заболевание, вызываемое *Pyricularia oryzae* Cav. (син. *Magnaporthe oryzae*), признанное наиболее вредоносным в рисосеющих регионах мира, включая юг России. Глобальные потери урожая от пирикулярриоза составляют 10–30% ежегодно, а в годы эпифитотий — до 100%.

Патоген поражает все надземные органы растения, формируя характерные ромбовидные пятна на листьях, узлах и метелках. Его жизненный цикл включает проникновение в ткани с помощью апрессориев, межклеточный рост мицелия и интенсивное спороношение, способствующее воздушно-капельному распространению инфекции.

Исследования по пирикулярриозу активно ведутся как в мировом, так и в отечественном научном сообществе. Ballini *et al.* (2008) провели крупномасштабный геномный метаанализ, выявив более 80 локусов устойчивости (QTL), что открыло новые перспективы для молекулярной селекции.

Klaubauf *et al.* (2014) на основе филогенетического анализа пересмотрели таксономию рода *Pyricularia*, что позволило более точно идентифицировать патогенные изоляты. Tosa Y. и Chuma I. (2014) детально описали механизмы специализации и патогенной адаптации штаммов *P. oryzae* к различным хозяевам, включая рис [1–3].

Важный вклад в изучение иммунитета риса внесли S.H. Ou (1971) и G.S. Khush (1989), заложившие основы генетики устойчивости. Было установлено, что R-гены, такие как *Pi-ta*, *Pi-b*, *Pi-km*, обеспечивают расовую специфичность сопротивления [5]. Однако их эффективность ограничена из-за быстрой эволюции патогена, что требует создания сортов с комплексной устойчивостью. Gómez-Ariza *et al.* (2007) показали, что премирование растений сахарозой может усиливать системную приобретенную устойчивость (SAR), что открывает путь к нетрадиционным методам защиты [5].

В России значительные исследования по иммунитету риса к пирикулярриозу проводятся в ФГБНУ «Федеральный научный центр риса». Работы О.А. Брагиной (2020 г.) подтвердили высокую вариабельность реакции сортов в зависимости от агроэкологических условий Краснодарского

края [6]. В то же время долгосрочные данные по динамике сортового состава и прогнозные модели на основе полиномиальной регрессии в условиях юга России ранее не разрабатывались.

Как показывают современные исследования, эффективная и устойчивая защита риса от болезней возможна только в рамках интегрированной системы фитосанитарного управления. Такой подход охватывает не только селекцию устойчивых сортов, но и регулярный мониторинг патогенных популяций, оценку иммунологических свойств генотипов и научно обоснованное прогнозирование вспышек заболеваний на основе анализа метеорологических данных [7].

Цели работы — проведение комплексного мониторинга развития пирикулярриоза риса в условиях Краснодарского края, выявление климатических факторов, способствующих вспышкам заболевания, и разработка прогнозной модели динамики устойчивости сортов на основе полиномиальной регрессии для оптимизации селекционного процесса и системы интегрированной защиты риса.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Мониторинговые исследования проводили в рисосеющих хозяйствах Краснодарского края в 2013–2022 гг. Источники инфекции и способы распространения в агроценозах определяли классическими фитопатологическими методами^{1,2}.

В районах рисосеяния (Славянский, Краснодарский, Абинский, Темрюкский, Крымский) на рисовых чеках устанавливали пассивные споровые ловушки, состоящие из клейких предметных стекол, на подставке в начале лета патогена. Споры, находящиеся в воздухе, естественным образом попадали на поверхность стекол под действием ветра. В течение вегетации риса (июнь — сентябрь) (начиная с фазы кущения и до полной спелости) еженедельно из ловушки в стерильных контейнерах отбирали клейкие предметные стекла в асептических условиях и заменяли новыми предметными стеклами с клейкой поверхностью.

Проводили микроскопический анализ отбора проб, снятых с ловушек. Микроскопию проводили с использованием микроскопа Olympus CKX53 Evident (Япония). Таксоны грибов были идентифицированы с помощью визуальной оценки на основе морфологии и внешнего вида спор. Для оценки взаимосвязи между метеорологическими параметрами и заболеваемостью пирикулярриоза были собраны полевые данные — как об условиях окружающей среды, так и о заболеваемости в течение вегетационного периода риса.

¹ Index Fungorum: the global fungal nomenclator [электронный ресурс] / Royal Botanic Gardens Kew, Landcare Research-NZ, Institute of Microbiology Chinese Academy of Science.
URL: <https://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 13.06.2025).

² Bragina O.A., Ogly A.M., Khachmamuk P.N. Immunological variability of rice varieties depending on growing conditions. International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021). E3S Web of Conferences. 2021; 285: 02036.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128502036>

Исследования проводили на рисовой оросительной системе в ФГБУ ЭСОС «Красная» — филиале ФГБНУ «ФНЦ риса» по предшественнику многолетние травы. Устойчивость сортообразцов, переданных селекционерами и УНУ «Коллекция генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур» ФГБНУ «ФНЦ риса», изучали на естественном инфекционном фоне с благоприятными условиями для развития патогена.

Всего проанализированы 13 158 сортообразцов, в том числе в оценку включены сорта интродукции из Индии, Китая, Японии и Вьетнама для изучения их реакции на *P. oryzae*.

Образцы высевали однорядковыми деланками. Стандарты — индикаторы уровня инфекционного фона (Авангард — резистентный к патогену сорт узбекской селекции, Победа 65 — неустойчивый сорт отечественной селекции) высевали через каждые 20 образцов. Закладку опыта проводили в соответствии с методическими указаниями^{3,4}. Поражаемость растений пирикулярриозом оценивали по 10-бальной шкале Международного института риса⁵.

Результаты учетов использовали для анализа интенсивности развития болезни и определения иммунологических свойств сортообразцов риса. Неустойчивые к пирикулярриозу образцы исключали из селекционного процесса. Устойчивые образцы продолжают оцениваться в течение 3 и более лет для получения объективных данных.

По результатам оценки сортообразцы классифицировали на: устойчивые — интенсивность развития болезни (ИРБ) < 25%; среднеустойчивые — ИРБ 25,1–50%; неустойчивые — ИРБ > 50%.

Наблюдения, учеты поражений проводили согласно методическим указаниям⁶ и ГОСТ Р 52325-2005⁷.

Для оценки гидротермических условий, влияющих на развитие пирикулярриоза риса (*Pyricularia oryzae* Cav.), был рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) по методу Селянинова. Расчет выполнялся по декадам по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{P}{0,1 \times \sum t},$$

где: P — количество осадков за декаду, мм; $\sum t$ — сумма среднесуточных температур, превышающих 10 °С, за тот же период.

Полученные значения ГТК были сопоставлены с многолетними климатическими нормами и использованы для оценки благоприятности условий для развития патогена.

Категории увлажнения: ГТК < 0,4 — сухо; $0,4 \leq \text{ГТК} < 1,0$ — сухо; $1,0 \leq \text{ГТК} < 1,5$ — достаточно увлажнено; ГТК ≥ 1,5 — влажно.

Метеоданные получены с автоматической метеостанции Agrokeep, установленной в Красноармейском районе⁸.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В 2024 году в регионе наблюдалась выраженная аномалия по увлажненности: суммарное количество осадков за вегетационный период составило 148 мм, что значительно ниже среднелетней нормы (210 мм). Анализ данных показал, что с мая по август ГТК не превышал 0,88, что соответствует категории «сухо» и указывает на крайне неблагоприятные условия для инфекционного процесса. В этих условиях первые видимые симптомы пирикулярриоза появились во II декаде июля, что на 2–3 недели позже, чем в годы с достаточным увлажнением. Это свидетельствует о значительной задержке в развитии болезни вследствие дефицита влаги в ранние и средние фазы вегетации (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические данные периода вегетации 2024 г.
Table 1. Meteorological data for the vegetation period of 2024

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С		Осадки, мм		Относительная влажность воздуха, %	ГТК	Категория увлажнения	Оценка условий для пирикулярриоза
		средняя многолетняя	2024 г.	средние многолетние	2024 г.				
Май	1	15,0	14,8	18,0	10,0	65	0,67	Сухо	Неблагоприятно
	2	16,8	14,4	19,0	5,8	74	0,40	Сухо	Неблагоприятно
	3	18,5	20,2	20,0	9,6	68	0,47	Сухо	Неблагоприятно
Июнь	1	19,5	25,4	22,0	0	69	0,00	Сухо	Неблагоприятно
	2	20,4	26,4	23,0	18,8	75	0,71	Сухо	Неблагоприятно
	3	21,3	24,8	22,0	0	65	0,00	Сухо	Неблагоприятно
Июль	1	22,5	29,8	21,0	2,4	60	0,08	Сухо	Неблагоприятно
	2	23,2	30,1	20,0	1,4	50	0,05	Сухо	Неблагоприятно
	3	23,8	26,4	19,0	7,6	68	0,29	Сухо	Неблагоприятно
Август	1	23,7	25,8	17,0	22,8	74	0,88	Сухо	Условно благоприятно
	2	22,7	25,2	15,0	0	61	0,00	Сухо	Неблагоприятно
	3	21,6	26,8	15,0	8,0	67	0,30	Сухо	Неблагоприятно
Сентябрь	1	19,3	23,4	13,0	62,4	75	2,67	Влажно	Благоприятно
	2	17,4	23,6	12,0	7	62	0,30	Сухо	Неблагоприятно
	3	15,6	17,6	13,0	63	51	3,58	Влажно	Благоприятно

³ Коваленко Е.Д. и др. Методические указания по оценке устойчивости сортов риса к возбудителю пирикулярриоза. М.: ВАСХНИЛ. 1988; 30.

⁴ Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) [электронный ресурс]. URL: <https://www.aphis.usda.gov> (дата обращения: 13.06.2025).

⁵ International Rice Research Institute (IRRI). Rice Policy-World Rice Statistics (WRS). <http://www.irri.org> (date of access: 13.06.2025).

⁶ Аверьянов А.А., Лапинова В.П., Петелина Г.Г. Лабораторный экспресс-метод оценки сортовой устойчивости риса к пирикулярриозу. Большие Вяземы: ВНИИФ. 1990; 12.

⁷ ГОСТ Р 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Методы определения посевных и фитосанитарных качеств.

⁸ Agrokeep: метеостанции для сельского хозяйства [электронный ресурс]. URL: <https://agrokeep.ru> (дата обращения: 13.06.2025).

Детализированный расчет ГТК по декадам позволил выявить, что благоприятные условия для развития патогена сложились лишь в конце вегетации. В I декаде сентября ГТК достиг 2,67, а в III — 3,58, что соответствует категории «влажно» и создает оптимальные предпосылки для активного спороношения *P. oryzae*. Однако к этому времени большинство сортов риса находились в фазе восковой или полной спелости, характеризующейся снижением метаболической активности и, как следствие, пониженной восприимчивостью к инфекции. Несмотря на это, пик конидиогенеза, зафиксированный с помощью споровых ловушек, пришелся на август — сентябрь, что коррелирует с периодом резких суточных перепадов температур и выпадения обильной росы — ключевыми факторами, способствующими прорастанию конидий и проникновению патогена в ткани растений.

На рисунке 1 в графической форме представлена динамика изменения гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период 2024 года.

Графическая интерпретация динамики ГТК за вегетационный период наглядно демонстрирует резкий контраст между засушливым началом и влажным завершением вегетации. Такая асимметрия климатических условий оказала существенное влияние на временную структуру инфекционного процесса, сместив его пик на более поздние сроки и снизив потенциальный ущерб для урожая. Полученные данные подтверждают высокую чувствительность развития пирикулярриоза к гидротермическому режиму и обосновывают использование ГТК в качестве интегрального индикатора риска вспышек болезни.

На основе многолетних наблюдений лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса» и анализа литературных источников [8–11] были уточнены диапазоны и оптимум экологических факторов, способствующих различным стадиям жизненного цикла *Pyricularia oryzae*. Полученные данные систематизированы в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что развитие пирикулярриоза риса, вызываемого *Pyricularia oryzae* Cav., определяется комплексным воздействием температуры, влажности воздуха и продолжительности увлажнения листовой поверхности. Оптимальные условия для ключевых стадий жизненного цикла патогена — прорастания конидий, формирования апрессориев и инвазии тканей — складываются при температуре 25–28 °С, относительной влажности воздуха выше 89% (оптимум 93%) и непрерывном увлажнении листьев не менее 6 часов. Совместное действие этих факторов создает благоприятные условия для вспышек болезни, что подтверждено данными мониторинга: при засушливых условиях ГТК < 0,88 заболевание подавлялось, а при влажном периоде ГТК > 2,6 наблюдался пик конидиогенеза.

Рис. 1. Динамика изменения гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период 2024 года

Fig. 1. Dynamics of changes in the hydrothermal coefficient during the vegetation period of 2024



Таблица 2. Диапазон и оптимальные условия среды, способствующие развитию пирикулярриоза риса

Table 2. Range and optimal environmental conditions that promote the development of rice blast

Условия	Стадия	Диапазон	Оптимум
Влажность листа	Все фазы вегетации	Постоянно увлажненная поверхность	> 6 часов
	Прорастание апрессория	10–33	25–28
Температура воздуха, °С	Формирование повреждений (влажные листья)	10–30	25–28 (в течение 4–5 суток)
	Рост мицелия	10–35	28
	Споруляция	10–35	25–28
	Распространение конидий	10–35	21–22
	Восприимчивость хозяина к пирикулярриозу	10–30	25–28
	Выживаемость мицелия в течение 18 месяцев	от -20 до -30	-30
Влажность воздуха, %	Рост мицелия	89–98	93
	Прорастание конидий	89–96	93
	Распространение конидий	85–90	90
	Развитие заболевания	89–98	93–95

При этом для распространения конидий отмечается сдвиг оптимума температуры в сторону более низких значений (21–22 °С), что может способствовать их сохранению и переносу в умеренно теплую погоду. Неблагоприятные условия (низкая влажность < 85%, температура за пределами диапазона 10–35 °С и кратковременное увлажнение) подавляют инфекционный процесс.

В ходе мониторинга воздушно-распространяемых патогенов с использованием пассивных споровых ловушек, установленных на опытном участке в рисосеющих зонах Краснодарского края, проведено микроскопическое исследование спор в период вегетации риса (июнь — сентябрь). Анализ спор на микроскопе позволил выявить микоконкомплекс грибных патогенов, включающий *Pyricularia oryzae* Cav., *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoemaker и *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. Видовая идентификация грибов выполнена на основе морфологических признаков конидий и конидиеносцев в соответствии с международными таксономическими стандартами [12].

Наибольшую частоту встречаемости и концентрацию в воздушной среде продемонстрировал *Pyricularia oryzae*, который составил 78% от общего числа зарегистрированных конидий, что свидетельствует о его доминирующем положении в патогенном комплексе и высокой адаптивной способности к условиям юга России.

Отметим, что конидии *P. oryzae* были впервые зафиксированы в I декаде июня, однако видимые симптомы заболевания на растениях появились лишь во II декаде июля (с задержкой около 3 недель). Этот временной лаг обусловлен необходимостью сочетания благоприятных метеорологических условий (температуры 25–28 °С, относительной влажности воздуха выше 90% и непрерывного увлажнения листовой поверхности не менее 8 часов) для успешного прорастания конидий, формирования апресориев и проникновения патогена в ткани растения.

Пик конидиогенеза *P. oryzae* пришелся на август — сентябрь, что совпало с фазой метелкообразования и резкими суточными перепадами температур (до 12 °С), способствующими выпадению обильной росы. Продолжительность росного периода составляла 7–10 часов, что создавало оптимальные условия для инфекции и привело к значительному поражению метелок, особенно у восприимчивых сортов.

Фитопатологический анализ семян 17 сортов риса (*Oryza sativa* L.), проведенный в рамках многолетних исследований (2013–2022 гг.), выявил наличие внутрисеменной инфекции, вызываемой фитопатогенными грибами *Pyricularia oryzae* Cavara, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., *Fusarium* spp., а также плесневыми микромицетами (*Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Mucor* spp.). Исследования осуществляли на основе усредненных данных, полученных в ходе ежегодного мониторинга семенного фонда, что обеспечивает высокую репрезентативность и актуальность полученных результатов для оценки долгосрочных тенденций в распространении и патогенности грибных ассоциаций.

Наиболее значимое негативное влияние на показатели всхожести и энергии прорастания оказал *Alternaria alternata*. Полученные данные согласуются с литературными сведениями о высокой токсигенности данного вида. В работе S. Choudhary и R.P. Ghasolia описывается, что *Alternaria alternata* оказывает негативное влияние на всхожесть семян и энергию прорастания риса. Авторы установили, что инфицирование семян данным патогеном приводит к значительному снижению лабораторной всхожести и полевой всхожести, а также к ослаблению роста проростков: уменьшению длины корней и побегов, снижению биомассы и общей жизнеспособности сеянцев. Эти эффекты обусловлены в том числе синтезом вторичных метаболитов, в частности

Рис. 2. Метелка риса, пораженная альтернариозом. Фото лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса»

Fig. 2. Rice panicle affected by alternaria. Photo of the Laboratory of Immunity and Plant Protection of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Rice"



альтернариола и тениновой кислоты, которые подавляют дыхательные процессы и нарушают биоэнергетические функции в тканях зародыша и эндосперма.

Полученные данные подтверждают высокую патогенность *A. alternata* и ее способность снижать качество семенного материала, что согласуется с наблюдаемыми в полевых условиях проявлениями альтернариоза в виде оливкового бархатистого налёта на листьях, стеблях и метелках риса [13].

Возбудитель, проникая внутрь семян, продуцирует токсины, ухудшая качество семян, снижая их энергию прорастания и всхожесть (табл. 3).

Анализ представленных данных показал, что степень поражения семян *Alternaria* spp. коррелирует с понижением всхожести. Так, сорта с высоким уровнем инфицирования (например, Корнет — 62%, Биотех — 52%) демонстрируют более низкие показатели прорастания по сравнению с менее пораженными образцами.

Следует отметить, что идентификация микромицетов в ходе исследований осуществлялась

Таблица 3. Фитопатологический анализ семян риса
Table 3. Phytopathological analysis of rice seeds

№ п/п	Сорт	Всхожесть, %	Поражено, %			
			<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Pyricularia oryzae</i>	<i>Penicillium</i> pp., <i>Mucor</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp.
1	Трио	92,0	34,0	7,0	5	–
2	Тритон	93,0	43,0	3,0	8	–
3	Диалог	97,0	40,0	2,0	–	–
4	Легенда	100,0	9,0	4,0	–	–
5	Корнет	97,0	62,0	3,0	5	–
6	Биотех	87,0	52,0	8,0	11	–
7	Регул-2	98,0	39,0	3,0	8	–
8	Юниор	89,0	48,0	3,0	3	5,0
9	Юбилейный -85	89,0	44,0	3,0	8	–
10	Валентина	94,0	45,0	6,0	ед.	–
11	Каурис	85,0	20,0	ед.	–	–
12	Каурис	96,0	5,0	ед.	–	–
13	Каурис (Зя очистка)	99,0	1,0	ед.	–	–
14	Наутилус	77,0	25,0	ед.	4	–
15	Наутилус	94,0	5,0	ед.	–	–
16	Полевик	94,0	6,0	ед.	–	–
17	Патриот	84,0	16,0	ед.	–	–

с использованием микроскопического анализа морфологических признаков конидий и мицелия. Грибы родов *Alternaria* и *Pyricularia* преимущественно колонизируют поверхность зерновки, проникая внутрь семян через микротрещины в покровах или в зоне цветковых чешуй. Грибница *A. alternata* и *P. oryzae* локализуется под цветковыми чешуями, а при благоприятных условиях — в тканях эндосперма (рис. 3, 4). Конидии данных патогенов обнаруживаются как на поверхности, так и в глубоких слоях семенной оболочки, что подтверждает их способность к внутрисеменному распространению.

В ходе многолетнего мониторинга (2013–2022 гг.) были проанализированы 13 158 сортообразцов риса на устойчивость к пирикулярриозу в контролируемых и полевых условиях. Оценку проводили по стандартной методике с использованием дифференциальных сортов и шкалы поражения листьев и метелок (0–9 баллов) в соответствии с международными протоколами IRRI. Результаты (рис. 5) показали, что из общего числа изученных образцов устойчивыми к *Pyricularia oryzae* оказались 1492 (11,3%), среднеустойчивыми — 5047 (38,4%), восприимчивыми — 6619 (50,3%) сортообразцов. Отбор образцов с полевой устойчивостью осуществляли на основе многолетних наблюдений в эпифитотийные годы, что позволило выделить генотипы с устойчивым фенотипом в условиях высокого патогенного давления.

Рис. 3. Конидии грибов рода *Pyricularia* (А) и *Alternaria* (Б) на цветковых чешуях зерновки риса. Фото лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса»

Fig. 3. Conidia of fungi of the genus *Pyricularia* (A) and *Alternaria* (B) on the flower scales of rice grains. Photo of the Laboratory of Immunity and Plant Protection of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Rice”

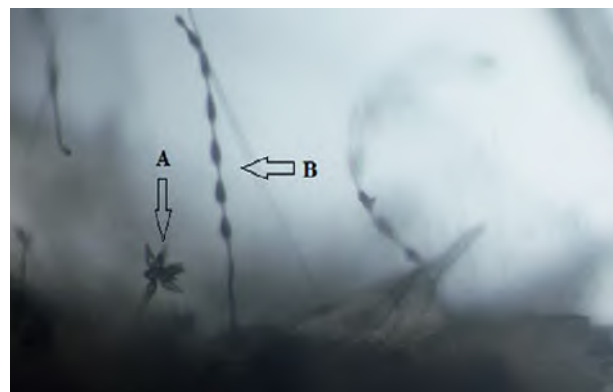
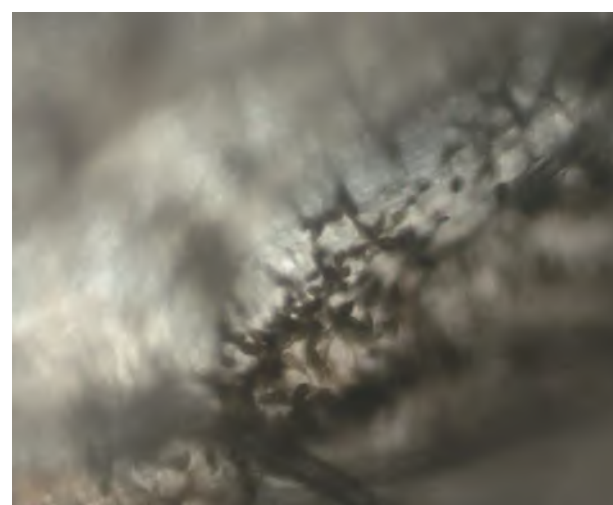


Рис. 4. Конидии и мицелий гриба рода *Alternaria*: А — под цветковыми чешуями, Б — в эндосперме зерновки риса. Фото лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса»

Fig. 4. Conidia and mycelium of the fungus of the genus *Alternaria*: A — under the flower scales, B — in the endosperm of the rice grain. Photo of the Laboratory of Immunity and Plant Protection of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Rice”



А(А)



Б(В)

На рисунке 6 отражена прогнозная модель изменения количества сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу до 2030 года по уровню устойчивости к пирикулярриозу.

На рисунке 6 представлена динамика изменения числа сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу с 2013 по 2022 год. По оси абсцисс отмечены годы наблюдений, по оси ординат — количество оцененных образцов, разделенных на три группы: устойчивые, среднеустойчивые и восприимчивые к *Pyricularia oryzae*. Точками на графике обозначены фактические данные за каждый год, а плавные кривые — результат аппроксимации этих данных полиномом 2-го порядка, построенным методом наименьших квадратов. Такой подход позволяет выявить нелинейные тенденции, которые сложно заметить при визуальном анализе отдельных точек. Высокие значения коэффициента детерминации (R^2 от 0,70 до 0,85) говорят о том, что модель достаточно точно отражает реальные изменения в структуре сортового состава. Это дает основание использовать ее для прогнозирования дальнейших тенденций в распределении устойчивых и восприимчивых форм.

Анализ графической зависимости демонстрирует четко выраженную тенденцию: количество образцов, относящихся к устойчивым сортам, систематически снижается на протяжении рассматриваемого периода. Напротив, наблюдается устойчивый рост доли как среднеустойчивых, так и особенно восприимчивых сортов. Такое перераспределение сортового фонда указывает на возможное ослабление генетической устойчивости рисовых агроценозов в целом.

Снижение присутствия устойчивых генотипов создает благоприятные условия для накопления инфекционного потенциала патогена, поскольку отсутствие эффективного генетического сопротивления способствует более активному циклу его размножения и распространения. Увеличение доли восприимчивых форм в свою очередь повышает вероятность масштабных вспышек пирикулярриоза, которые в условиях высокой влажности и оптимальной температуры могут привести к катастрофическим потерям урожая (в некоторых случаях до 70–100% при отсутствии адекватных фитосанитарных мер).

В связи с этим приоритетной задачей селекционной науки и аграрной политики становятся сохранение и расширение генофонда устойчивых сортов риса. Необходим переход к комплексной стратегии управления устойчивостью, включающей не только традиционную и молекулярную селекцию, но и широкий мониторинг патогенных популяций, оценку агроклиматических рисков и внедрение устойчивых агротехнологий.

Рис. 5. Распределение сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу

Fig. 5. Distribution of rice varieties by level of resistance to blast

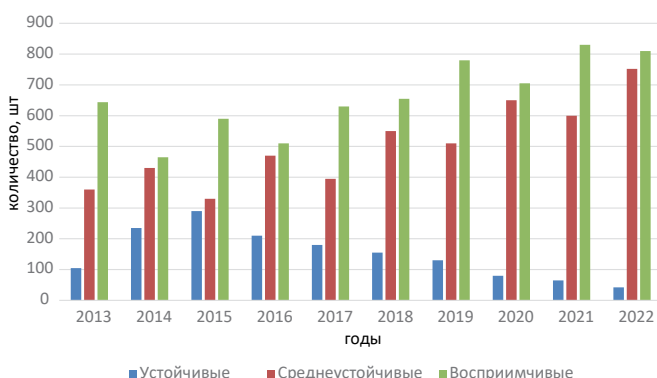
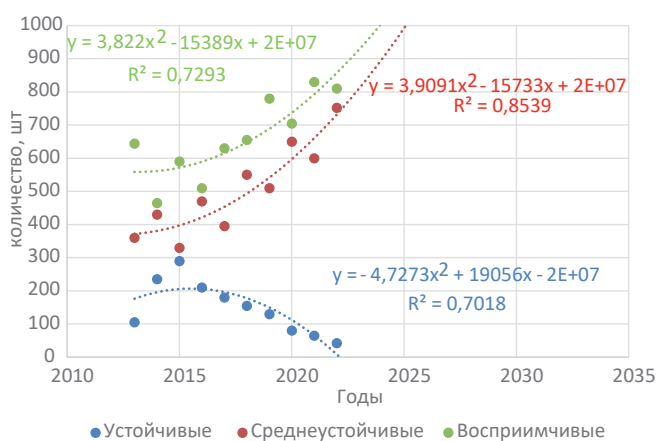


Рис. 6. Прогноз изменения сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу

Fig. 6. Forecast of changes in rice varieties by the level of resistance to blast



Выводы/Conclusions

В результате многолетнего (2013–2022 гг.) комплексного мониторинга развития пирикулярриоза риса (*Pyricularia oryzae* Cav.) в условиях Краснодарского края установлены ключевые эколого-физиологические факторы, определяющие инфекционный процесс: оптимальная температура 25–28 °С, относительная влажность воздуха выше 89% и непрерывное увлажнение листовой поверхности не менее 6 часов. Эти параметры легли в основу анализа фитосанитарной ситуации и объясняют пространственно-временную динамику заболевания, включая задержку первых симптомов в засушливые годы.

На основе анализа 13 158 сортов риса, включая сорта отечественной и зарубежной селекции, проведена оценка иммунологического спектра генофонда. Установлено, что лишь 11,3% образцов обладают устойчивостью к *P. oryzae*, 38,4% — среднеустойчивы, 50,3% — восприимчивы, что свидетельствует о высоком риске накопления инфекционного потенциала в агроценозах.

Впервые для условий юга России разработана количественная прогнозная модель на основе

полиномиальной регрессии, отражающая трансформацию сортового состава по уровню устойчивости. Модель с высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,70-0,85$) достоверно выявляет тенденцию к сокращению доли устойчивых форм и росту восприимчивых генотипов, что указывает на необходимость корректировки селекционной стратегии.

В качестве перспективных источников устойчивости выделены сорта отечественной селекции (Снежинка, Олимп, Южный Виола, Кумир, Привольный 4, Партнер, Крепыш, Яхонт, Наутилус, Соната, Сонет, Азовский, Рубин, Гарант, Кураж, Исток, Злата), рекомендованные для включения в

сортосмену и создание устойчивых агрофитотеннозов.

Для обеспечения устойчивого рисоводства в условиях изменяющегося климата и эволюции патогенных популяций необходим переход к интегрированной системе защиты, включающей: сохранение и популяризацию устойчивых сортов, регулярный мониторинг патогена, прогнозирование рисков на основе гидротермических индексов и применение научно обоснованных агротехнологий. Реализация такой стратегии позволит минимизировать зависимость от химических фунгицидов и обеспечить стабильность урожайности риса в долгосрочной перспективе.

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

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2025-574.

FUNDING

The article was prepared with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant No. 075-15-2025-574.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ballini E. *et al.* A genome-wide meta-analysis of rice blast resistance genes and quantitative trait loci provides new insights into partial and complete resistance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2008; 21(7): 859–868. <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-7-0859>
- Klaubauf S. *et al.* Resolving the polyphyletic nature of *Pyricularia* (Pyriculariaceae). *Studies in Mycology*. 2014; 79: 85–120. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.004>
- Tosa Y., Chuma I. Classification and parasitic specialization of blast fungi. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(3): 202–209. <https://doi.org/10.1007/s10327-014-0513-7>
- Ou S.H. Disease resistance in rice. *Mutation Breeding for Disease Resistance*. Vienna: IAEA. 1971; 78–85.
- Gómez-Ariza J. *et al.* Sucrose-mediated priming of plant defense responses and broad-spectrum disease resistance by overexpression of the maize pathogenesis-related PRms protein in rice plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2007; 20(7): 832–842. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-7-0832>
- Брагина О.А., Оглы А.М. Устойчивость сортов риса к возбудителю пирикулярноза в различных агроэкологических условиях Краснодарского края. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2020; 84: 95–99. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-84-95-99>
- U.S.-Japan Cooperative Research on the International Pathogenic Races of the Rice Blast Fungus, *Pyricularia Oryzae* Cav., and their International Differentials. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1967; 33(S): 1–87.
- Kato H. *et al.* Pathogenicity, Mating Ability and DNA Restriction Fragment Length Polymorphisms of *Pyricularia* Populations Isolated from Gramineae, Bambusideae and Zingiberaceae Plants. *Journal of General Plant Pathology*. 2000; 66(1): 30–47. <https://doi.org/10.1007/PL00012919>
- Murata N., Aoki T., Kusaba M., Tosa Y., Chuma I. Various species of *Pyricularia* constitute a robust clade distinct from *Magnaporthe salvinii* and its relatives in Magnaporthaceae. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(1): 66–72. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0477-z>
- Nürnberg T., Brunner F., Kemmerling B., Piater L. Innate immunity in plants and animals: striking similarities and obvious differences. *Immunological Reviews*. 2004; 198(1): 249–266. <https://doi.org/10.1111/j.0105-2896.2004.0119.x>
- Okagaki L.H. *et al.* Genome Sequences of Three Phytopathogenic Species of the Magnaporthaceae Family of Fungi. *G3 Genes|Genomes|Genetics*. 2015; 5(12): 2539–2545. <https://doi.org/10.1534/g3.115.020057>

REFERENCES

- Ballini E. *et al.* A genome-wide meta-analysis of rice blast resistance genes and quantitative trait loci provides new insights into partial and complete resistance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2008; 21(7): 859–868. <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-7-0859>
- Klaubauf S. *et al.* Resolving the polyphyletic nature of *Pyricularia* (Pyriculariaceae). *Studies in Mycology*. 2014; 79: 85–120. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.004>
- Tosa Y., Chuma I. Classification and parasitic specialization of blast fungi. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(3): 202–209. <https://doi.org/10.1007/s10327-014-0513-7>
- Ou S.H. Disease resistance in rice. *Mutation Breeding for Disease Resistance*. Vienna: IAEA. 1971; 78–85.
- Gómez-Ariza J. *et al.* Sucrose-mediated priming of plant defense responses and broad-spectrum disease resistance by overexpression of the maize pathogenesis-related PRms protein in rice plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2007; 20(7): 832–842. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-7-0832>
- Bragina O.A., Ogly A.M. Resistance of rice varieties to the pathogen pyricularia in different agroecological conditions of Krasnodar Territory. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2020; 84: 95–99 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-84-95-99>
- U.S.-Japan Cooperative Research on the International Pathogenic Races of the Rice Blast Fungus, *Pyricularia Oryzae* Cav., and their International Differentials. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1967; 33(S): 1–87.
- Kato H. *et al.* Pathogenicity, Mating Ability and DNA Restriction Fragment Length Polymorphisms of *Pyricularia* Populations Isolated from Gramineae, Bambusideae and Zingiberaceae Plants. *Journal of General Plant Pathology*. 2000; 66(1): 30–47. <https://doi.org/10.1007/PL00012919>
- Murata N., Aoki T., Kusaba M., Tosa Y., Chuma I. Various species of *Pyricularia* constitute a robust clade distinct from *Magnaporthe salvinii* and its relatives in Magnaporthaceae. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(1): 66–72. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0477-z>
- Nürnberg T., Brunner F., Kemmerling B., Piater L. Innate immunity in plants and animals: striking similarities and obvious differences. *Immunological Reviews*. 2004; 198(1): 249–266. <https://doi.org/10.1111/j.0105-2896.2004.0119.x>
- Okagaki L.H. *et al.* Genome Sequences of Three Phytopathogenic Species of the Magnaporthaceae Family of Fungi. *G3 Genes|Genomes|Genetics*. 2015; 5(12): 2539–2545. <https://doi.org/10.1534/g3.115.020057>

12. Rijal S., Devkota Y. A review on various management methods of rice blast disease. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*. 2020; 4(1): 29–33.

<https://doi.org/10.26480/mjsa.01.2020.29.33>

13. Choudhary S., Ghasolia R.P. Effect of *Alternaria alternata* on seed germination and seedling vigour. *International Journal of Agriculture and Nutrition*. 2023; 5(1-A): 12–14.

<https://doi.org/10.33545/26646064.2023.v5.i1a.91>

ОБ АВТОРАХ

Олеся Анатольевна Брагина

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
olesya.bragina.1984@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4120-6836>

Мария Дмитриевна Говердовская

младший научный сотрудник
shagina-95@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8465-8122>

Ирина Анатольевна Лыско

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
ilysko@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-1006-688X>

Любовь Владимировна Есаулова

кандидат биологических наук, заместитель директора
по научной работе
l.esaulova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0907-2524>

Федеральный научный центр риса,
пос. Белозерный, 3, Краснодар, 350921, Россия

12. Rijal S., Devkota Y. A review on various management methods of rice blast disease. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*. 2020; 4(1): 29–33.

<https://doi.org/10.26480/mjsa.01.2020.29.33>

13. Choudhary S., Ghasolia R.P. Effect of *Alternaria alternata* on seed germination and seedling vigour. *International Journal of Agriculture and Nutrition*. 2023; 5(1-A): 12–14.

<https://doi.org/10.33545/26646064.2023.v5.i1a.91>

ABOUT THE AUTHORS

Olesya Anatolyevna Bragina

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
olesya.bragina.1984@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4120-6836>

Maria Dmitrievna Goverdovskaya

Junior Researcher
shagina-95@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8465-8122>

Irina Anatolyevna Lysko

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
ilysko@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-1006-688X>

Lyubov Vladimirovna Esaulova

Candidate of Biological Sciences, Deputy Director
for Scientific Work
l.esaulova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0907-2524>

Federal Scientific Center of Rice,
3 Belozerny Settlement, Krasnodar, 350921, Russia

УДК 633.853:631.524.84(470.40.43)

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-147-154

Е.А. Атакова ✉

И.С. Абраменко

Самарский федеральный
исследовательский центр
РАН, Поволжский научно-
исследовательский институт
селекции и семеноводства
им. П.Н. Константинова, Кинель,
Россия

✉ atakovaxamina@mail.ru

Поступила в редакцию: 06.08.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

©Атакова Е.А., Абраменко И.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-147-154

Elena A. Atakova ✉

Irina S. Abramenko

The P.N. Konstantinov Volga Scientific
Research Institute of Breeding and
Seed Production is a branch of the
Federal State Budgetary Institution
of Science of the Samara Federal
Research Center of the Russian
Academy of Sciences, Kinel, Russia

✉ atakovaxamina@mail.ru

Received by the editorial office: 06.08.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Atakova E.A., Abramenko I.S.

Оценка показателей адаптивности сортов сои в конкурсном сортоиспытании в условиях лесостепи Среднего Поволжья

РЕЗЮМЕ

В условиях глобальных климатических изменений, характеризующихся повышением температуры и дефицитом осадков, селекция адаптивных сортов сельскохозяйственных культур становится приоритетной задачей.

Цель исследования — комплексная оценка адаптивности и стабильности 13 линий сои в контрастных почвенно-климатических условиях лесостепи Среднего Поволжья (Самарская обл.) в 2021–2023 гг.

Методология исследования включала расчет коэффициентов регрессии (b_i), стабильности (σ^2_d), адаптивности (KA), гомеостатичности (Hom) и других параметров. Установлено, что наибольшую урожайность (1.76–1.85 т/га) и комплексную адаптивность проявили линии Л 312, Л 5162/17 и Л 5007-2/17, превысив стандартный сорт Южанка на 1.7–13.5%. Выявлена сильная положительная корреляция урожайности с компенсаторной способностью ($r = 0.73$), индексом экологической пластичности ($r = 0.99$) и коэффициентом адаптивности ($r = 0.95$). Линия Л 319, показавшая высокую селекционную ценность и стабильность, передана на государственное сортоиспытание. Результаты работы позволяют выделить перспективные генотипы для создания высокопродуктивных и устойчивых сортов сои.

Ключевые слова: соя, адаптивность, экологическая пластичность, стабильность урожая, селекция, засухоустойчивость, Среднее Поволжье

Для цитирования: Атакова Е.А., Абраменко И.С. Оценка показателей адаптивности сортов сои в конкурсном сортоиспытании в условиях лесостепи Среднего Поволжья. *Аграрная наука*. 2025; 401(12): 147–154.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-147-154>

Evaluation of the adaptability of soybean varieties in competitive variety testing in the forest-steppe zone of the Middle Volga region

ABSTRACT

In the context of global climate change, characterized by rising temperatures and reduced rainfall, the selection of adaptive crop varieties has become a priority.

The purpose of the study is a comprehensive assessment of the adaptability and stability of 13 soybean lines in the contrasting soil and climatic conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region (Samara region) in 2021–2023.

The research methodology included the calculation of regression coefficients (b_i), stability (σ^2_d), adaptivity (KA), homeostaticity (Hom) and other parameters. It was found that the highest yields (1.76–1.85 t/ha) and complex adaptability were shown by the lines L 312, L 5162/17 and L 5007-2/17, exceeding the standard Yuzhanka variety by 1.7–13.5%. A strong positive correlation of yield with compensatory capacity ($r = 0.73$), environmental plasticity index ($r = 0.99$) and adaptability coefficient ($r = 0.95$) was revealed. The L 319 line, which has shown high breeding value and stability, has been transferred to the state variety testing. The results of the work allow us to identify promising genotypes for the creation of highly productive and resistant soybean varieties.

Key words: soy, adaptability, ecological plasticity, crop stability, breeding, drought resistance, Middle Volga region.

For citation: Atakova E.A., Abramenko I.S. Assessment of Soybean Varieties Adaptability in Competitive Variety Testing in the Forest-Steppe Zone of the Middle Volga Region. *Agrarian science*. 2025; 401(12): 147–154 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-147-154>

Введение/Introduction

Глобальные климатические изменения, включая повышение среднесуточной температуры и снижение объема выпадающих осадков, оказывают значительное воздействие на аграрный сектор, в том числе на территории Российской Федерации. Термический и водный стресс оказывает негативное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур [1]. В условиях меняющегося климата и локальных погодных аномалий возникает необходимость разработки и внедрения в практику растениеводства сортов, характеризующихся высокой продуктивностью и адаптированностью к конкретным почвенно-климатическим условиям [2].

В настоящее время в связи с ростом спроса на зернобобовые культуры соя (*Glycine max* (L.) Merr.) приобретает особое значение как ценный источник белка и масла. Высокий спрос на сою обусловлен ее уникальным химическим составом, характеризующимся высоким содержанием белка и масла, что делает ее востребованной в различных отраслях промышленности, включая пищевую, кормовую и химическую. Экономическая эффективность производства сои является важным фактором, стимулирующим ее выращивание [3]. Устойчивый рост спроса на сою, подкрепленный широким спектром ее применения, приводит к стабильному увеличению посевных площадей, отведенных под эту культуру [4].

Природно-климатические условия Самарской области оказывают существенное влияние на продуктивность сои. Благоприятные температурные условия для ее выращивания отмечаются в южной зоне региона. Однако данная территория характеризуется дефицитом влаги, что ограничивает стабильность урожаев [5].

Основным аспектом селекции, направленной на повышение адаптивности сельскохозяйственных культур, является оценка экологической пластичности, стабильности и адаптивности сортов на всех этапах селекционного процесса. Данные характеристики демонстрируют взаимодействие генотипа сорта с условиями окружающей среды [6].

Экологическая пластичность, определяемая как способность генотипа модифицировать фенотип в ответ на изменения условий среды, играет ключевую роль в обеспечении урожайности и качества продукции [7, 8]. Стабильность характеризует устойчивость сортовых признаков к колебаниям внешних факторов. Адаптивность отражает общую приспособленность сорта к конкретным условиям произрастания [9].

В связи с этим селекция сои на адаптивность является приоритетным направлением в условиях изменяющегося климата [10]. Разработка и внедрение сортов, обладающих высокой пластичностью и стабильностью, позволят обеспечить стабильные урожаи в различных агроэкологических зонах Самарской области и других регионов с аналогичными климатическими условиями [11].

По данным ряда авторов, средняя мировая урожайность сои составляет 2,3–2,7 т/га, в России средняя урожайность сои находится на уровне 1,4–1,6 т/га, что говорит о недостаточной реализации биологического потенциала продуктивности данной культуры [12, 13].

Цели исследований – оценить и проанализировать показатели адаптивности и стабильности сортов и линий сои в конкурсном сортоиспытании в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в Кинельском районе Самарской области в 2021–2023 гг. на полях Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Поволжского НИИСС — филиала СамНЦ РАН).

Экспериментальная часть работы проведена в питомнике конкурсному сортоиспытания.

Объектом изучения являлись 11 линий и 2 районированных сорта, созданные в Самарском СамНЦ РАН (табл. 1). За годы изучения в предварительных селекционных питомниках данные линии выделялись по продуктивности, превышая стандарт на 10–30%. Линии сои для испытания отбирали по критериям, которые учитывали урожайность (максимальная урожайность зерна, число семян и бобов с растения, масса семян с одного растения), устойчивость к болезням и вредителям, а также адаптивность к условиям выращивания (оценка экологической пластичности, продолжительность вегетационного периода, устойчивость к стрессовым условиям).

Все изучаемые линии относятся к среднеранней группе спелости. Характерные особенности данных линий — хорошая адаптированность к агроклиматическим условиям Самарской области и пригодность к комбайновой уборке.

Таблица 1. Происхождение сортов и перспективных линий сои

Table 1. The origin of soybean varieties and promising lines

Название	Происхождение	Оригинатор
1. Южанка	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
2. Самер 4	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
3. Л 319	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
4. Л 312	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
5. Л 59с04	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
6. Л 5001/17	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
7. Л 5006-2/17	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
8. Л 5007-2/17	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
9. Л 5063-5/17	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
10. Л 5136-13/17	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
11. Л 5162/17	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
12. Л 6003-2/15	Россия, Кинель	СамНЦ РАН
13. Л 1128/18	Россия, Кинель	СамНЦ РАН

За стандарт принят районированный сорт Южанка, включенный в Государственный реестр по Средневолжскому (7-му) региону. Растение индетерминантного типа развития. Опушение главного стебля серое, цветок белый. Семена желтые, рубчик желтый. Вегетационный период составляет 95–102 дня. Содержание белка в семенах 29,2%, жира — 25,3%. Сорт пригоден для выращивания без орошения.

Почвенный покров региона проведения исследований представлен типичным среднегумусным черноземом тяжелосуглинистого механического состава. Содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое 11,6–13,2 мг, подвижного фосфора — 15,8–19,5 мг и калия 14,5–20,1 мг на 100 г почвы. Содержание гумуса — 5,7–6,9%, pH солевой вытяжки почвы — 4,5 ед.

Агротехника в опытах общепринятая для сои в условиях Самарской области.

Посев деленок проводили сеялкой СН-10Ц (Машиностроительный завод опытных конструкций ВИМ, Россия) широкоявно (с междурядьем 45 см). Учетная площадь 25 м², повторность четырехкратная. Размещение деленок рендомизированное, предшественник — яровая пшеница.

Экспериментальную работу проводили с учетом методики Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур², Международного классификатора СЭВ рода *Clycine* L.³.

Для определения экологической пластичности и стабильности рассчитаны коэффициент линейной регрессии (b_1), среднеквадратическое отклонение (σ_d^2) по методике S.A. Eberhart et W.A. Russell⁴. Индекс условий среды (I_j) дает возможность определить изменение условий выращивания: в благоприятные условия для роста и развития растений складывались в годы с положительным знаком индекса, в неблагоприятные — с отрицательным.

Гомеостатичность (H_{om}) и селекционную ценность (S_c) определяли по методике В.В. Хангильдина⁵.

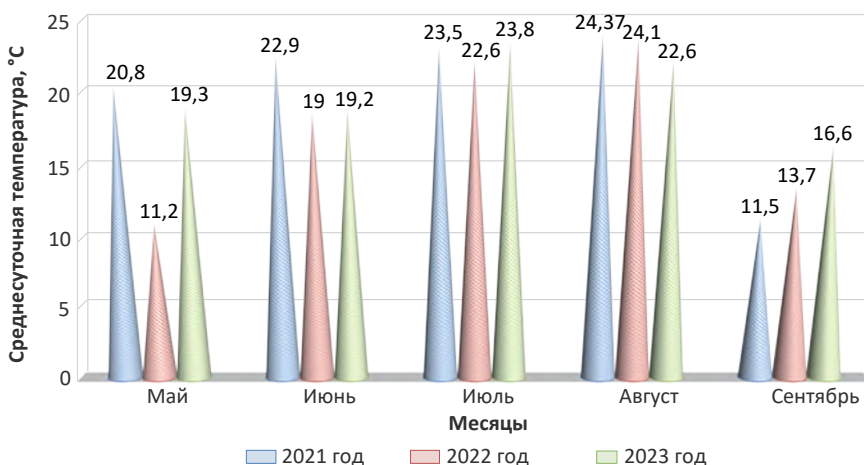
Коэффициент адаптивности (КА) рассчитывали по методике Л.А. Животкова⁶. Индекс экологической пластичности (ИЭП) оценивали по методике А.А. Грязнова⁷. Компенсаторную способность сортов вычисляли по А.А. Rossielle и S. Nemblin [14] в изложении А.А. Гончаренко [15]. Коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Кр) определяли по методу В.А. Зыкина⁸.

Статистическая обработка полученных данных проведена методом дисперсионного анализа, коэффициент вариации (V) рассчитывали по Б.А. Доспехову⁹.

Агрометеорологические условия в лесостепи Самарского Заволжья в период вегетации (2021–2023 гг.) характеризовались значительными колебаниями температурного режима и увлажнения, выявив значительную изменчивость по годам, что необходимо учитывать при оценке адаптивности сортов (рис. 1–3).

Вегетационный период 2021 г. характеризовался аномальными климатическими условиями, выраженными в значительном превышении среднесуточных температур над нормой (на 1,7–5,8 °C) и неравномерным распределением осадков. Май, июнь, июль и август демонстрировали положительную температурную аномалию, при этом максимальное отклонение зафиксировано в августе (24,7 °C против 19,3 °C). Сентябрь, напротив, отличался пониженной температурой (11,5 °C против 12,3 °C). Осадки

Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха за 2021–2023 гг., °C
Fig. 1. Average daily air temperature for 2021–2023, °C



¹ Казарин В.Ф., Казарина А.В., Марунова Л.К. и др. Ресурсосберегающая технология возделывания сои в среднем Поволжье (рекомендации). Кинель: Поволжский НИИСС. 2014; 46.

² Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Общая часть. Москва. 2019; 1: 384.

³ Научно-технический совет стран — членов СЭВ по коллекциям диких и культурных видов растений, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова и др.; составитель Корсаков Н. и др. Л.: ВИР. 1981; 41.

⁴ Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russell. Ctop. sci. 1966; 6: 1: 36–40.

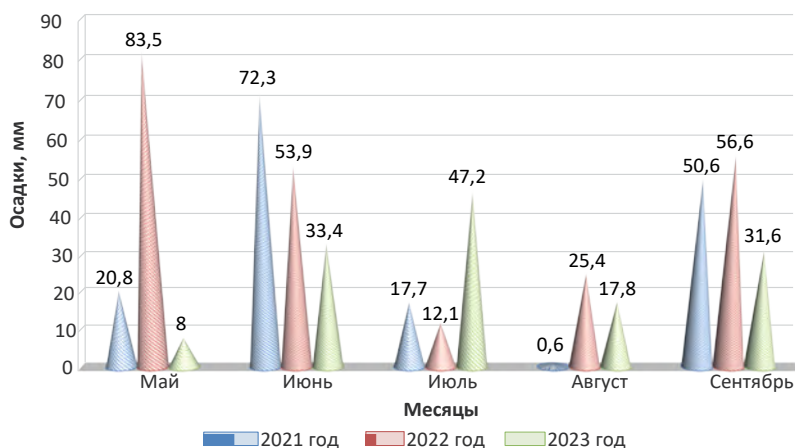
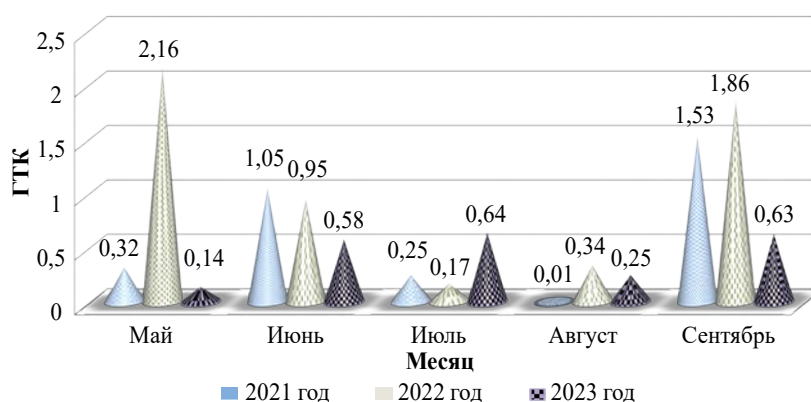
⁵ Хангильдин В.В. Проявление гомеостаза у гибридов гороха посевного / В.В. Хангильдин, Р.Р. Асфондиярова // Биологические науки. 1977; 1: 116–121.

⁶ Животков Л.А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайность / Л.А. Животков, З.А. Морозова, Л.И. Секутаева // Селекция и семеноводство. 1994; 2: 3–6.

⁷ Грязнов А.А. Карабалыкский ячмень. Кустанай: Печатный двор. 1996; 448.

⁸ Зыкин В.А. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа: БашГАУ. 2005; 100.

⁹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос. 1985; 385.

Рис. 2. Сумма осадков за 2021–2023 гг., мм**Fig. 2.** Precipitation amount for 2021–2023, mm**Рис. 3.** Гидротермический коэффициент за 2021–2023 гг.**Fig. 3.** Hydrothermal coefficient for 2021–2023

в мае и августе были дефицитными, особенно критичным оказался август (0,6 мм), что свидетельствует о жесткой засухе. Июль характеризовался недостаточным увлажнением (17,7 мм). Июнь и сентябрь продемонстрировали превышение среднесуточных значений по осадкам. Гидротермический коэффициент (ГТК) в мае, июле и августе был ниже нормы, указывая на засушливые условия, с экстремально низким значением в августе (ГТК = 0,01). Июнь и сентябрь характеризовались повышенным увлажнением — ГТК 1,05 и 1,53 соответственно.

В 2022 году вегетационный период сои характеризовался повышенными температурами и неравномерным распределением осадков. Среднесуточная температура за май — сентябрь составила 18,7 °С, превысив среднесуточное значение на 3,5 °С, с повышенной температурой в июле (22,6 °С) и августе (24,1 °С). Общая сумма осадков (41,3 мм) незначительно превысила среднесуточные показатели (36,4 мм), однако наблюдался дефицит осадков в июне, июле и августе, что указывает на потенциальные засушливые условия в период цветения и формирования бобов. Гидротермический коэффициент (ГТК) в июле составил 0,17, что свидетельствует об острой засухе.

Лето 2023 года отличалось значительными агрометеорологическими колебаниями. Май

характеризовался высокой температурой (превышение климатической нормы на 4,8 °С) и критически низким количеством осадков (8,0 мм), что обусловило низкий ГТК (0,14). В июне влагообеспеченность улучшилась, однако июль оказался наиболее благоприятным периодом с высокой влажностью (47,3 мм осадков, ГТК = 0,64) и высокой средней суточной температурой (22,3 °С). В августе вновь наблюдали дефицит влаги (снижение осадков на 38% относительно нормы) и превышение температуры (на 2,5 °С). Сентябрь характеризовался умеренными осадками (24,4 мм) и температурой (14,9 °С).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Важный показатель продуктивности сои — урожай семян. Расчет урожайности в конкурсном сортоиспытании сои проводили с опытной деланки площадью 25 м².

В среднем за 3 года изучения продуктивность сои находилась в пределах 1,48–1,85 т/га. Наибольшую урожайность в среднем сформировали Л 312, Л 5162/17 и Л 5007-2/17, превышение над стандартом составило 1,73–13,49% (табл. 2).

При расчете индекса условий среды установлено, что наименее благоприятным годом для формирования высокой урожайности семян сои был

Таблица 2. Урожайность сортов сои (2021–2023 гг.)**Table 2.** Yield of soybean varieties (2021–2023)

Сорт	Урожайность, т/га			Среднее	bi	b _d ²
	2021 г.	2022 г.	2023 г.			
1. Южанка	1,98	0,92	2,00	1,63	0,92	0,06
2. Самер 4	2,00	0,99	2,08	1,69	0,95	0,08
3. Л 319	1,75	1,04	2,28	1,69	0,78	0,34
4. Л 312	2,46	0,74	2,09	1,76	1,50	0,01
5. Л 59C04	2,60	0,97	1,45	1,67	1,23	0,31
6. Л 5001/17	1,99	0,89	1,57	1,48	0,92	1,10
7. Л 5006-2/17	2,22	0,94	1,54	1,57	1,02	0,06
8. Л 5007-2/17	2,10	1,19	2,25	1,85	0,87	0,11
9. Л 5063-5/17	2,06	1,42	1,47	1,65	0,21	0,16
10. Л 5136-13/17	2,18	1,07	1,87	1,71	0,95	0
11. Л 5162/17	2,80	0,91	1,62	1,78	1,46	0,26
12. Л 6003-2/15	1,81	0,76	1,96	1,51	1,00	0,13
13. Л 1128/18	2,28	0,93	1,69	1,63	1,11	0,03
НCP ₀₅	0,22	0,05	0,06			
lj	0,50	-0,67	0,17			

Примечание: bi — экологическая пластичность; b_d² — коэффициент регрессии (по S.A. Eberhart, W.A. Russel).

2022-й ($lj = -0,67$), благоприятным годом сложился 2021-й ($lj = 0,50$).

Коэффициент регрессии (bi) варьировал от 0,21 до 1,50. Чем выше значение коэффициента регрессии ($bi > 1$), тем большей отзывчивостью обладает данный сорт на улучшение условий. Наибольшей пластичностью обладают линии Л 312, Л 59C04, Л 5006-2/17, Л 5162/17, Л 1128/18 ($bi = 1,00-1,50$). У стандартного сорта Южанка, Самер 4, линий Л 5136-13/17, Л 5001/17 показатель пластичности был близок к единице ($bi = 0,92-0,95$). Наименьшую пластичность показали линии Л 319, Л 5007-2/17 ($bi = 0,78-0,87$). Коэффициент регрессии у линии Л 5063-5/17 составил 0,21, что значительно ниже 1 (это говорит о способности генотипа слабо реагировать на изменения среды).

Чем меньше среднеквадратическое отклонение (σ_d^2), согласно методике S.A. Eberhart, W.A. Russell, тем более стабильнее сорт.

Проведенные изучения выявили, что наиболее стабильными сортами были Л 5136-13/17, Л 312, Л 5006-2/17, стандарт Южанка, Самер 4 ($\sigma_d^2 = 0-0,08$). К среднестабильным отнесены Л 5007-2/17, Л 6003-2/15, Л 5063-5/17 ($\sigma_d^2 = 0,11-0,13$). Наименьшей стабильностью в контрастных условиях выращивания отмечались Л 5162/17, Л 59C04, Л 319 ($\sigma_d^2 = 0,26-0,34$), низкой стабильностью — линия Л 5001/17 ($\sigma_d^2 = 1,10$).

В настоящее время существует ряд методов, позволяющих оценить адаптивность сортов сои по данным многолетних испытаний. Важным этапом в алгоритме подсчета адаптивных свойств сортов сои является оценка их по пластичности, фенотипической стабильности и гомеостазу (табл. 3).

Коэффициент отзывчивости (K_p) определяет, как сорт отзывается на улучшение условий выращивания. По методу В.А. Зыкина, если $K_p > 1$, то сорт хорошо отзывается на условия внешней среды, если $K_p < 1$ — отрицательно, $K_p = 0$ — нейтрально. Показатель величины K_p изучаемых сортов находился в пределах 1,45–3,32. Все сорта положительно отзываются на улучшение окружающей среды, в особенности линии Л 5162/17 и Л 312 ($K_p = 3,08-3,32$).

Компенсаторная способность растений — это способность адаптироваться к стрессовым условиям окружающей среды. Чем выше данный параметр, тем выше генетическая гибкость сорта. За 3 года изучения были выделены сорта, которые показывали высокую компенсаторную способность: Л 312 (1,60), Л 59C04 (1,79), Л 5007-2/17 (1,65), Л 5063-5/17 (1,74), Л 5136-13/17 (1,63), Л 5162/17 (1,86), Л 1128/18 (1,61). Компенсаторная способность стандартного сорта Южанка составила 1,56, тем самым уступив большинству сортов.

ИЭП — важный показатель сортов, позволяет определить пластичность признака в различных климатических условиях. Чем выше полученный результат, тем данный сорт пластичнее, а значит, более ценный при выращивании. Показатель ИЭП в настоящих исследованиях находился в

Таблица 3. Параметры пластичности сортов сои по признаку «урожайность семян» (2021–2023 гг.)

Table 3. Parameters of plasticity of soybean varieties on the basis of “seed yield” (2021–2023)

Образец	K_p	Компенсаторная способность	ИЭП	Hom	V, %	Sc
1. Южанка	1,93	1,56	1,06	5,25	33,53	0,90
2. Самер 4	2,02	1,50	1,04	4,61	36,09	0,84
3. Л 319	1,68	1,40	1,04	6,50	36,69	1,00
4. Л 312	3,32	1,60	1,08	1,98	51,70	0,53
5. Л 59C04	2,68	1,79	1,02	1,42	50,30	0,62
6. Л 5001/17	2,24	1,44	0,91	3,53	37,16	0,66
7. Л 5006-2/17	2,36	1,58	0,96	3,00	40,76	0,66
8. Л 5007-2/17	1,76	1,65	1,13	6,58	30,81	1,05
9. Л 5063-5/17	1,45	1,74	1,01	11,83	21,82	1,14
10. Л 5136-13/17	2,04	1,63	1,05	4,64	33,33	0,84
11. Л 5162/17	3,08	1,86	1,09	1,76	53,37	0,58
12. Л 6003-2/15	2,38	1,29	0,93	3,35	43,05	0,63
13. Л 1128/18	2,45	1,61	1,00	2,89	41,72	0,66
$\bar{r}$	-0,06	0,73	0,99	0,18	-0,01	0,46

Примечание: K_p — коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания по Зыкину; компенсаторная способность по Rossielle, Hemblin; ИЭП — индекс экологической пластичности по Грязнову; Hom — гомеостатичность (по В.В. Хангильдину); V — коэффициент вариации; Sc — селекционная ценность; KA — коэффициент адаптивности (по методике Животкова).

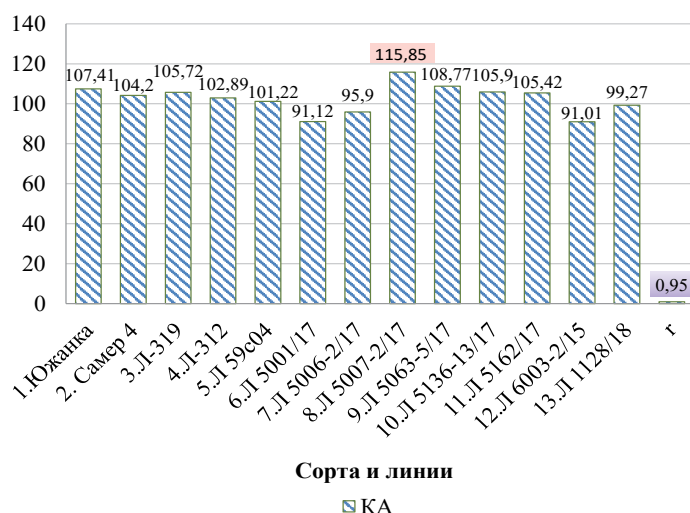
пределах 0,91–1,13. Наиболее пластичными оказались (ИЭП > 1) стандартный сорт Южанка (1,06), Л 312 (1,08), Л 5007-2/17 (1,13), Л 5162/17 (1,09). Менее пластичными по данному расчету характеризовались сорта Л 5001/17 (0,91), Л 5006-2/17 (0,96), Л 6003-2/15 (0,93).

Hom — это способность растений переносить действие неблагоприятных факторов и давать в таких условиях максимальный урожай. Чем больше величина признака, тем стабильнее генетическая система устойчивости растений [16]. Наивысший показатель гомеостатичности показали st Южанка (Hom = 5,25), Л 319 (Hom = 6,50), Л 5007-2/17 (Hom = 6,58), Л 5063-5/17 (Hom = 11,83).

Между критериями коэффициента вариации и гомеостатичности существует обратная корреляция: чем меньше коэффициент вариации, тем выше показатель гомеостатичности и тем признак более устойчив к условиям окружающей среды. В данных исследованиях у стандартного сорта Южанка, линии Л 319, Л 5007-2/17, Л 5063-5/17 выявлены меньший процент варьирования урожайности семян ($V = 21,82-36,69\%$), и наибольшая гомеостатичность (Hom = 5,25–11,83).

Sc — параметр, предложенный В.В. Хангильдиным для оценки сортов. Данный метод заключается в сравнении урожайности в лимитированной

Рис. 4. Показатель коэффициента адаптивности сортов и линий сои
Fig. 4. Adaptability coefficient of soybean varieties and lines



и оптимальной почвенно-климатической среде. Чем выше значение, тем более ценным в селекционном плане является сорт. По данному показателю высокую селекционную ценность имели сорта Южанка ($Sc = 0,90$), Самер 4 ($Sc = 0,84$), Л 319 ($Sc = 1,00$), Л 5007-2/17 ($Sc = 1,05$), Л 5063-5/17 ($Sc = 1,14$), Л 5136-13/17 ($Sc = 0,84$).

КА — показатель, который отражает способность адаптироваться в постоянно меняющейся среде (рис. 4). Если КА превышает 100%, то сорт является потенциально адаптивным. По результатам анализа коэффициент адаптивности находился в пределах 91,01–108,77%. Наиболее адаптивными являются 8 линий и стандартный сорт Южанка ($KA = 101,22$ –115,85%). За годы исследований линии Л 5001/17, Л 5006-2/17, Л 6003-2/15, Л 1128/18 имели коэффициент адаптивности ниже 100%, что свидетельствует о пониженной адаптивной способности.

Корреляционный анализ показал сильную зависимость между урожайностью и компенсаторной способностью ($r = 0,73$), коэффициентом адаптивности ($r = 0,95$), индексом экологической пластичности ($r = 0,99$). Установлена слабая отрицательная корреляционная зависимость между продуктивностью и коэффициентом отзывчивости ($r = -0,06$), коэффициентом вариации ($r = -0,01$). Средняя корреляционная связь отмечена между урожайностью и селекционной ценностью ($r = 0,46$). Определена слабая взаимосвязь продуктивности и гомеостатичности ($r = 0,18$).

Выводы/Conclusions

Проведенные трехлетние исследования в условиях лесостепи Среднего Поволжья России позволили дать комплексную оценку адаптивного потенциала коллекции линий сои.

Анализ урожайности в контрастных по метеорологическим условиям годам выявил существенную

изменчивость продуктивности изучаемых генотипов, что подтверждает необходимость оценки стабильности и пластичности как ключевых элементов селекционной работы.

Наибольший средний урожай за 3 года исследований сформировали линии Л 312, Л 5162/17 и Л 5007-2/17, продемонстрировавшие превышение над стандартным сортом Южанка на 1,73–13,49%, что свидетельствует о наличии генетического потенциала для повышения продуктивности сои в регионе.

Комплексный анализ адаптивных свойств выявил дифференциацию линий по типам реакции на условия среды. Линии Л 312 и Л 5162/17 проявили себя как высокопластичные генотипы с сильной отзывчивостью на улучшение усло-

вий выращивания, что характеризуется высокими значениями коэффициента регрессии ($b_i = 1,50$ и $1,46$) и коэффициента отзывчивости ($K_p = 3,32$ и $3,08$).

Однако высокая пластичность часто сочетается с пониженной стабильностью, что подтверждается повышенными значениями коэффициента вариации и среднеквадратического отклонения у этих линий. В противоположность этому линия Л 5007-2/17 и стандартный сорт Южанка показали высокую стабильность и гомеостатичность, что выражается в низком коэффициенте вариации и высоких значениях гомеостатичности ($Hom = 6,58$ и $5,25$), что делает их наиболее надежными в условиях стресса.

Установлена сильная положительная корреляционная связь между урожайностью и такими параметрами, как компенсаторная способность ($r = 0,73$), коэффициент адаптивности ($r = 0,95$), индекс экологической пластичности ($r = 0,99$). Это указывает на то, что именно способность сорта эффективно использовать благоприятные условия и минимизировать потери в неблагоприятные годы является основным фактором, определяющим стабильно высокую продуктивность в условиях изменчивого климата региона.

Линия Л 319, показавшая высокую селекционную ценность и стабильность, была признана перспективной и передана на государственное сортоиспытание.

Таким образом, результаты исследований подтверждают, что для обеспечения стабильной урожайности сои в засушливых условиях Среднего Поволжья необходима селекция на сочетание признаков — высокой экологической пластичности и фенотипической стабильности. Выделенные перспективные линии с комплексом хозяйственно ценных признаков представляют собой ценный исходный материал для создания новых адаптированных сортов сои.

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. Горбачева А.Г., Орлянская Н.А., Ветошкина И.А., Чеботарев Д.С. Результаты оценки адаптивности родительских форм — линий кукурузы. *Аграрный научный журнал*. 2023; (1): 4–10. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp4-10>
2. Тойгильдин А.Л., Тюрин А.В., Тойгильдина И.А. Сравнительная урожайность зерна гибридов кукурузы различных групп спелости на черноземах выщелоченных лесостепной зоны Поволжья. *Международной сельскохозяйственный журнал*. 2020; (5): 35–38. <https://elibrary.ru/oniras>
3. Шепель О.Л., Асеева Т.А., Зволимбовская М.П. Зависимость хозяйственно-биологических признаков сои от гидротермических условий Среднего Приамурья. *Достижения науки и техники АПК*. 2020; 34(8): 16–22. <https://elibrary.ru/zcnngt>
4. Кипшакбаева Г.А., Амантаев Б.О., Тлеулина З.Т., Жанбыршина Н.Ж., Кулжабаев Е.М. Изучение и создание исходного материала сои в условиях Северного Казахстана. *Аграрный вестник Урала*. 2022; (2): 40–47. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-217-02-40-47>
5. Казарина А.В., Атакова Е.А., Марунова Л.К. Оценка адаптивных свойств исходного материала сои по признаку «масса семян с одного растения» в условиях юга лесостепи Среднего Поволжья. *Достижения науки и техники АПК*. 2023; 37(9): 11–17. <https://elibrary.ru/rdthrd>
6. Децына А.А., Илларионова И.В., Щербинина В.О. Расчет параметров экологической пластичности и стабильности масличных сортов подсолнечника селекции ВНИИМК. *Масличные культуры*. 2020; (3): 31–38. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-3-183-31-38>
7. Захаров В.Г., Мишенькина О.Г. Адаптивные свойства новых сортов овса в условиях Средневолжского региона. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (4): 100–107. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-4-100-107>
8. Elakhdar A. et al. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022; 201: 104965. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965>
9. Давыдова Н.В. и др. Экологическая оценка стабильности и пластичности сортов яровой мягкой пшеницы различных периодов сортосмены. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020; (3): 142–149. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-142-149>
10. Исмагилов К.Р., Каюмова Р.Р. Стабильность и агроэкологическая пластичность озимых зерновых культур в Республике Башкортостан. *Аграрная наука*. 2024; (3): 114–118. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-114-118>
11. Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Содержание белка и уровень пластичности, стабильности, гомеостатичности коллекционных образцов ржи в условиях Северо-Западного региона. *Вестник КРАСГАУ*. 2021; (3): 64–70. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-3-64-70>
12. Толоконников В.В., Мухаметханова С.С., Канцер Г.П., Плющева Н.М. Селекция сортов сои на скороспелость и высокой биологический потенциал продуктивности в условиях орошения. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2022; (1): 78–86. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-07>
13. Толоконников В.В., Вронская Л.В., Агапова С.А. Сортотая отзывчивость сои на орошение и удобрение в условиях Нижнего Поволжья. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2023; 18(3): 320–333. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2023-18-3-320-333>
14. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment. *Crop Science*. 1981; 21(6): 943–946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>
15. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005; (6): 49–53. <https://elibrary.ru/hsfqax>

REFERENCES

1. Gorbacheva A.G., Orlyanskaya N.A., Vetoshkina I.A., Chebotarev D.S. The results of evaluation of adaptability of corn parental lines. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; (1): 4–10 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp4-10>
2. Toigildin A.L., Tyurin A.V., Toigildina I.A. Comparative yielding capacity of grain maize hybrids according to ripeness groups on leached chernozems of the Volga forest-steppe zone. *International Agricultural Journal*. 2020; (5): 35–38 (in Russian). <https://elibrary.ru/oniras>
3. Shepel O.L., Aseeva T.A., Zvolimbovskaya M.P. Dependence of economic and biological characteristics of soybean on the hydrothermal conditions of the Middle Amur region. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2020; 34(8): 16–22 (in Russian). <https://elibrary.ru/zcnngt>
4. Kipshakbaeva G.A., Amantaev B.O., Tleulina Z.T., Zhanbyrshina N.Zh., Kulzhabaev E.M. Study and creation of the source material of soybeans in the conditions of Northern Kazakhstan. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; (2): 40–47 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-217-02-40-47>
5. Kazarina A.V., Atakova E.A., Marunova L.K. Assessment of the adaptive properties of soybean source material based on the criterion “seed weight per plant” under the conditions of the southern foreststeppe of the Middle Volga region. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2023; 37(9): 11–17 (in Russian). <https://elibrary.ru/rdthrd>
6. Detsyna A.A., Illarionova I.V., Shcherbinina V.O. Calculation of parameters of ecological plasticity and stability of oil sunflower varieties bred in VNIIMK. *Oil Crops*. 2020; (3): 31–38 (in Russian). <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-3-183-31-38>
7. Zakharov V.G., Mishenkina O.G. Adaptive properties of new oat varieties in the Middle Volga region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020; (4): 100–107 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-4-100-107>
8. Elakhdar A. et al. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022; 201: 104965. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965>
9. Davydova N.V. et al. Ecological evaluation of stability and plasticity of spring soft wheat varieties of different variety changing periods. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2020; (3): 142–149 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-142-149>
10. Ismagilov K.R., Kayumova R.R. Stability and ecological plasticity of winter grain crops in the Republic of Bashkortostan. *Agrarian science*. 2024; (3): 114–118 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-114-118>
11. Aniskov N.I., Safonova I.V. Protein content and level of plasticity, stability, homeostaticity of collection rye samples under conditions of the Northwestern region. *Bulletin of KrasGAU*. 2021; (3): 64–70 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-3-64-70>
12. Tolokonnikov V.V., Mukhametkhanova S.S., Kantser G.P., Plyushcheva N.M. Breeding of soybean varieties for early maturity and high biological potential of productivity under irrigation conditions. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2022; (1): 78–86 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-07>
13. Tolokonnikov V.V., Vronskaya L.V., Agapova S.A. Varietal responsiveness of soybeans to irrigation and fertilizer in the conditions of the Lower Volga region. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry*. 2023; 18(3): 320–333 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2023-18-3-320-333>
14. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment. *Crop Science*. 1981; 21(6): 943–946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>
15. Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2005; (6): 49–53 (in Russian). <https://elibrary.ru/hsfqax>

16. Давлетов Ф.А., Ахмадуллина И.И., Сафин Ф.Ф., Гайнулли-на К.П. Гомеостатичность и адаптивность сортов гороха разных морфотипов. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019; 14(4): 27–31.
<https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-27-31>

ОБ АВТОРАХ

Елена Александровна Атакова

младший научный сотрудник

atakovaxamina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3944-3530>

Ирина Степановна Абраменко

научный сотрудник

Adramenko_irinka00@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8112-1052>

Самарский федеральный исследовательский центр РАН — Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова, ул. Шоссейная, 76, пгт Усть-Кинельский, Кинель, Самарская обл., 446442, Россия

16. Davletov F.A., Akhmadullina I.I., Safin F.F., Gaynullina K.P. Homeostaticity and adaptivity of pea varieties of different morphotypes. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2019; 14(4): 27–31 (in Russian).
<https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-27-31>

ABOUT THE AUTHORS

Elena Alexandrovna Atakova

Junior Researcher

atakovaxamina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3944-3530>

Irina Stepanovna Abramenko

Research Associate

Adramenko_irinka00@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8112-1052>

Samara Federal Research Center RAS — Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov Production, 76 Shosseynaya Str., village Ust-Kinelsky, Kinel, Samara Region, 446442, Russia

ПРО ЯБЛОКО

**ЗДЕСЬ ФОРМИРУЕТСЯ БУДУЩЕЕ
РОССИЙСКОГО САДОВОДСТВА**

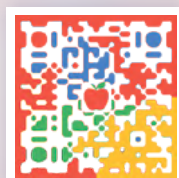
9-11 июня 2026

МВЦ «МинводыЭКСПО»

ОРГАНИЗАТОРЫ:



ПОДРОБНАЯ
ИНФОРМАЦИЯ
О ВЫСТАВКЕ >



УДК 633.521:631.527

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-155-163

Т.А. Базанов ✉

И.В. Ущаповский

Т.А. Рожмина

Н.Н. Логинова

Е.В. Минина

П.Д. Вересова

Федеральный научный центр
лубяных культур, Тверь Россия

✉ t.bazanov@fncl.ru

Поступила в редакцию: 27.08.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Базанов Т.А., Ущаповский И.В.,
Рожмина Т.А., Логинова Н.Н., Минина Е.В.,
Вересова П.Д.

Молекулярная оценка генетической однородности линий льна методом SSR-анализа

РЕЗЮМЕ

Проблема генетической однородности сортов сельскохозяйственных растительных культур является одной из ключевых в области сельскохозяйственной биологии, и ее значимость в аграрном секторе экономики постоянно возрастает. Однородность генотипических и фенотипических характеристик растений в пределах сорта позволяет сохранять его уникальные свойства из поколения в поколение. Однако из-за влияния множества факторов от естественного мутагенеза, дрейфа генов, переопыления и нарушений технологий семеноводства чистота сорта может значительно снижаться. Внедрение технологий молекулярно-генетического маркирования в селекционно-семеноводческую практику будет способствовать эффективной и быстрой оценке генетической однородности сортов.

Цель данной работы — оценка генетической однородности линий льна с применением различных комплексов SSR-маркеров.

Объектами исследования стали 4 линии льна, каждая была представлена 16 образцами. Выделение геномной ДНК из листьев растений проводили с использованием модифицированного СТАВ-метода. В работе были использованы SSR-маркерные комплексы отечественной и зарубежной разработки. После проведения ПЦР с каждой линейкой SSR-маркеров был выполнен фрагментный анализ, на основании которого проведены оценка и сравнение генетической однородности исследованных линий льна. Анализ данных показал, что все исследованные линии в разной степени неоднородны по составу, при этом наиболее вариативной оказалась линия М-326, а наименее — П-268. Оба использованных маркерных комплекса показали высокую информативность и комплементарность получаемых данных. По результатам работы определены наиболее перспективные SSR-маркеры, дальнейшее использование которых обеспечит наилучшие результаты и точность в интерпретации данных.

Ключевые слова: лен, молекулярные маркеры, SSR-маркеры, ПЦР, генетическая однородность, селекция

Для цитирования: Базанов Т.А., Ущаповский И.В., Рожмина Т.А., Логинова Н.Н., Минина Е.В., Вересова П.Д. Молекулярная оценка генетической однородности линий льна методом SSR-анализа. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 155–163.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-155-163>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-155-163

Taras A. Bazanov ✉

Igor V. Ushchapovsky

Tatiana A. Rozhmina

Natalya N. Loginova

Ekaterina V. Minina

Polina D. Veresova

Federal Research Center for Bast Fiber
Crops, Tver, Russia

✉ t.bazanov@fncl.ru

Received by the editorial office: 27.08.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Bazanov T.A., Ushchapovsky I.V.,
Rozhmina T.A., Loginova N.N., Minina E.V.,
Veresova P.D.

Molecular assessment of genetic homogeneity of flax lines using SSR-analysis

ABSTRACT

The problem of genetic purity of agricultural crop varieties is one of the key issues in the field of agricultural biology and its importance in the agricultural sector of the economy is constantly increasing. The uniformity of the genotypic and phenotypic characteristics of plants within the variety makes it possible to preserve its unique properties from generation to generation. However, due to the influence of many factors from natural mutagenesis, gene drift, over-pollination and violations of seed production technologies, the purity of the variety can decrease significantly. The introduction of molecular genetic labeling technologies into seed breeding practice will contribute to an effective and rapid assessment of the genetic purity of varieties.

The purpose of this work is to evaluate the genetic uniformity of flax lines using various SSR marker complexes.

The objects of the study were 4 flax lines, each represented by 16 samples. Genomic DNA was isolated from plant leaves using a modified CTAB-method. SSR-marker complexes of domestic and foreign development were used in the work. After PCR was performed with each line of SSR-markers, a fragmentary analysis was performed, based on which the genetic uniformity of the studied flax lines was evaluated and compared. Data analysis showed that all the lines studied were heterogeneous in composition to varying degrees, with the M-326 line being the most variable and the P-268 line being the least variable. Both marker complexes used showed high information content and complementarity of the data obtained. Based on the results of the research, the most promising SSR-markers have been identified, the further use of which will ensure the best results and accuracy in data interpretation.

Key words: flax, molecular markers, SSR-markers, polymerase chain reaction (PCR), genetic purity, selection

For citation: Bazanov T.A., Ushchapovsky I.V., Rozhmina T.A., Loginova N.N., Minina E.V., Veresova P.D. Molecular assessment of genetic homogeneity of flax lines using SSR-analysis. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 155–163 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-155-163>

Введение/Introduction

Лен (*Linum usitatissimum*) на протяжении многих лет остается важной сельскохозяйственной культурой благодаря своим уникальным свойствам и многофункциональности.

Хотя лен считается самоопыляющимся растением, некоторые исследования показывают, что в определенных условиях возможно незначительное перекрестное опыление [1, 2]. Это может привести к снижению однородности, что, с одной стороны, способствует появлению новых фенотипических признаков и изменению характеристик, обогащая генетический фонд, а с другой — вызывать потерю сортовых качеств [3–5].

Таким образом, для обеспечения устойчивости и стабильности возделываемых культур важно поддерживать их генетическую однородность, которая позволяет селекционерам более эффективно разрабатывать новые сорта, соответствующие современным требованиям рынка и потребителей [6, 7].

Генетическая однородность сортов льна определяется на основе различных характеристик, включая морфологические и фенотипические признаки. Однако данные методы определения, хоть и являясь традиционными, имеют ряд ограничений — требуют значительных ресурсов, а результаты таких измерений во многом зависят от условий выращивания, что усложняет работу селекционеров. Помимо этого, морфологических параметров не всегда достаточно, так как сорта льна внешне очень похожи между собой [8, 9]. Поэтому для точного определения сортов необходимо дополнительно использовать молекулярно-генетические маркерные комплексы, которые дают более надежные и объективные результаты [10]. Они позволяют достаточно точно определять генетическую однородность, выявляя как генетическое разнообразие, так и сходства между сортами.

В современных исследованиях сельскохозяйственных культур, включая оценку их генетической однородности, широкое распространение получило применение молекулярных маркеров. Под генетической однородностью понимают степень однородности генома в сортовой линии или популяции, в то время как полиморфизм отражает наличие в нем различных аллелей [11].

Для анализа генетической однородности сортов часто применяют метод SSR-маркирования. Его популярность обусловлена рядом преимуществ. Во-первых, он обеспечивает точную идентификацию и кодоминантность, что позволяет различать аллели, унаследованные от каждого из родителей. Во-вторых, благодаря высокому уровню полиморфизма данных маркеров можно выявить множество различий в генетическом материале. Это особенно ценно при изучении разнообразия внутри конкретной популяции [12, 13].

Используя данные о полиморфизме, можно разрабатывать маркерные системы, которые

дают возможность оценивать генетическую однородность и проводить генотипирование образцов льна, что особенно важно для сортов, которые мало отличаются друг от друга по внешним характеристикам [14]. С помощью SSR-маркеров осуществляют идентификацию сортов, отслеживают их родословные. Это делает их незаменимыми в селекции при создании новых конкурентоспособных сортов различных сельскохозяйственных культур [15].

Различные SSR-маркеры характеризуются определенным уровнем полиморфизма и показывают взаимосвязь с разными фенотипическими признаками растений [16, 17], поэтому их выбор для исследования многих сельскохозяйственных растений, в том числе льна, требует особого подхода. Часто для подбора оптимальных маркерных комплексов проводят их предварительное тестирование для конкретной исследовательской цели. Их эффективность может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от исследуемого сорта или популяции. В связи с этим правильный выбор молекулярных маркеров и адаптация методов их использования являются ключевыми задачами для получения надежных результатов исследования.

Цель данной работы — оценка генетической однородности линий льна с применением различных комплексов SSR-маркеров.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в 2024–2025 гг. в лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции Федерального научного центра лубяных культур.

Объектами исследования стали 4 линии льна (М-326, П-268, 157/Д-5, Р-256-02) из коллекции обособленного подразделения «Институт льна» ФНЦ ЛК (г. Торжок). Данные линии были получены методом линейной селекции. Каждая линия была представлена 16 отдельными растениями, отобранными с учетом однородности морфологических характеристик.

Выделение геномной ДНК из листьев растений осуществляли модифицированным СТАВ-методом [18]. Для каждой линии были получены уникальные образцы ДНК 16 отдельных растений. Определение концентрации и чистоты полученных образцов ДНК осуществляли на спектрофотометре NanoPhotometer NP80 (Implen GmbH, Германия).

Каждый образец ДНК был проанализирован с помощью молекулярных маркеров методом ПЦР с целью определения ее генетической однородности. Для достижения этой цели были сформированы два комплекса молекулярных SSR-маркеров.

Первый SSR-комплекс включал в себя микросателлитные маркеры, ранее использованные авторами в предыдущих работах по изучению

генетического полиморфизма и паспортизации льна [19]. Их выбор основывался на анализе информации, содержащейся в различных базах данных нуклеотидных последовательностей, а также на изучении научных публикаций и литературных источников, связанных с молекулярно-маркерными исследованиями генетического разнообразия сортов льна и их паспортизации.

В результате по таким критериям, как высокий уровень полиморфизма, стабильность, был отобран ряд SSR-маркеров и проведен молекулярно-генетический анализ различных сортов льна. Анализ выявил корреляцию маркеров с оригинатором. В связи с этим для достижения целей данного исследования была сформирована линейка из 11 SSR-маркеров, обладающая высоким и средним уровнями полиморфизма и способная эффективно различать сорта, происходящие из разных селекционных центров.

Нуклеотидные последовательности данного SSR-комплекса представлены в таблице 1.

Вторая маркерная система состояла из линейки высокоинформативных микросателлитных маркеров, разработанной специалистами Института генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси [20]. Данный набор из 10 SSR-маркеров был разработан на основе обширного анализа данных полиморфизма различных микросателлитных локусов льна, что позволило выделить наиболее высокополиморфные маркеры, обладающие значительной информативностью для молекулярно-генетических исследований.

Нуклеотидные последовательности данного маркерного комплекса представлены в таблице 2.

Для проведения ПЦР была подготовлена реакционная смесь объемом 25 мкл, в состав которой входили 20 нг исследуемой ДНК, прямой и обратный праймер (оптимальные концентрации определяли экспериментально), 200 мкМ dNTP, 2,5 мкМ MgCl₂ и 1 единица Taq-полимеразы. Реакция проводилась на амплификаторе T100 MyCycler™ (Bio-Rad Laboratories, Inc., США) при следующих условиях: начальная денатурация проходила

Таблица 1. Нуклеотидные последовательности SSR-комплекса разработки ФНЦ ЛК

Table 1. Nucleotide sequences of the SSR-complex developed by the FRC BFC

№	SSR-маркер	Прямой праймер (5'-3')	Обратный праймер (5'-3')
1	Lin1	TTGGGATTGAGAAGAGGG	ATAAGGCCAATAGAGAGGAA
2	Lin2	AGGATTACAACAAGAGAC	ATATTGACAGGGGAGGAAATA
3	Lin3	TTTGCAACGTCAATACCG	ATATCGCCTCAATAAACAACA
4	Lin4	CCTCAGTAGCATCGGTG	ATATTGGCCTATAAAAAGACA
5	Lin5	GAAGAAGAAGGCGGGTAC	ATACACAGCTGAAAGCAAGAT
6	Lin6	GGGAGAACAACAAGAGAG	ATACGACAGGAACAACACG
7	Lin7	GCCGCCAGAAGAAATG	ATACTGGCAGCTTAATCAACC
8	Lin8	TCTGGGTACAACCAGAAA	ATAGACTTAGAGACGATTGG
9	Lin9	CGTCTACAACCTGGAGACA	ATAGGCGACAAGGGAGG
10	Lin10	CAACGGAGACCAATCAG	ATACCCAGTCTACTCAGCTAG
11	Lin11	TAGTAATAAGAAGGAGCC	ATAGCATCCAACAAGGGTG

в течение 5 мин. при температуре 94 °С, затем следовали 35 циклов, включающих денатурацию при 94 °С (30 сек.), отжиг при температуре, подобранной для данной пары праймеров (45 сек.), и элонгацию при 72 °С (40 сек.). Завершающую терминальную элонгацию проводили при 72 °С в течение 5 мин.

Полученные продукты ПЦР были денатурированы формамидом и разделены методом капиллярного электрофореза на генетическом анализаторе НАНОФОР 05 (ООО «НПФ Синтол», Россия) с использованием молекулярного маркера СД-450 (ООО «НПФ Синтол», Россия). Результаты анализа интерпретировались с учетом наличия или отсутствия аллелей определенной длины в конкретном локусе.

Статистический анализ SSR-локусов был проведен с использованием надстройки для электронной таблицы MS Excel (США) — GenAEx 6.41 [21].

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

Для статистического анализа SSR-локусов были рассчитаны значения параметров «число аллелей на локус», «частота основного аллеля» и PIC. Расчетные показатели, характеризующие маркерные комплексы, приведены в таблице 3.

В целом для всех исследованных образцов льна были выявлены 72 аллели. Число аллелей на локус в изученной выборке сортов варьировало от 1 (локус *Lin1*) до 5 (локусы *Lin8* и *Flu28*). Среднее значение показателя коэффициента полиморфизма PIC у SSR-комплекса разработки ФНЦ ЛК оказалось ниже, чем у комплекса разработки ИГиЦ НАН Беларуси, — 0,357 и 0,473 соответственно.

Средний показатель числа аллелей на локус показывает такую же зависимость — 3,3 аллеля на локус против 3,7. Это говорит о более высокой разрешающей способности белорусских маркеров. Частота

Таблица 2. Нуклеотидные последовательности SSR-комплекса разработки ИГиЦ НАН Беларуси

Table 2. Nucleotide sequences of SSR-complex developed by the IGC NASB

№	SSR-маркер	Прямой праймер (5'-3')	Обратный праймер (5'-3')
1	Flu 7	CATCCAACAAGGGTGGTG	GGAACAAGGGTAGCCATGA
2	Lu 8	ACACTTGCTATTAGCTACAAGAGAG	CAGCATCCAGAGGTTCTCAC
3	Lu 17	ATGATCGCATGAGCAATTG	GTTTGTGAGGTGACGGTGAG
4	Lu 28	TCCCAGCGAGTTTGGTGAG	TGGAGGAACATAATTGTGGCAAG
5	Lu 3	CTTTTTTGAGTCACCAAGCC	CGCTGGAGTCTGAATCCTAG
6	Lu 21	CCGAGTCCGAAAGAATCTGG	CAGCTCCCATTTGTTTCCC
7	Lu 13	TGTGCCAATAGCCATGTGAG	GTATGGCTTCCTATGGGCTAAC
8	Lu 23	CATGACCATGTGATTAGCATCG	CATAGGAGGTGGGTTGCTGC
9	Flu 8	TCCCGTAATATTCTATGTTCTTCC	TGAGTTGGACCTTACAAGACTCA
10	Flu 25	TCTACAGAGTTCAATCCCGTAA	GTTGGACCTTACAAGACTCACTG

встречаемости различных аллелей в изученной выборке варьировала от 0,046 до 1. При этом подавляющее большинство основных аллелей встречалось с частотой более 0,5. Вместе с низкими показателями PIC и числа аллелей на локус это является следствием небольшой выборки исследуемых образцов, ограниченной четырьмя линиями.

Результаты фрагментного анализа представлены в таблицах 4–7, в которых значение 0 указывает на отсутствие полиморфизма, а значение 1 — на его наличие у данного образца.

Для линии 157/Д-5 (табл. 4) лишь два маркера (Lin6 и Lin8) из маркерного комплекса собственной разработки проявили полиморфизм. При этом Lin6 выявил генетическое разнообразие только у четырех образцов (3, 8, 10 и 12), в то время как Lin8 — у шести (3, 8, 10, 12, 5 и 7). Белорусская линейка маркеров показала более высокий уровень полиморфизма: три маркера из десяти не обнаружили разнообразия, тогда как остальные продемонстрировали полиморфизм в пределах от одного до пяти образцов (1, 3, 5, 6, 8–10 и 12).

Когда образец гетерогенен относительно основной части выборки, это выявляют оба маркерных комплекса. Например, для образца 3 пять маркеров из обеих линеек были полиморфны, для образца 8 — семь маркеров, для образцов 10 и 11 — по шесть маркеров. При этом были несколько образцов, для которых гетерогенность показала одна линейка (образцы 1, 6 и 9 — только вторая, а образец 7 — только первая). Среднее количество полиморфных маркеров на образец для этой линии составило 2.

Из линейки ФНЦ ЛК для линии Р-256-02 (табл. 5) полиморфизм продемонстрировали шесть маркеров (Lin4, Lin5, Lin7, Lin8, Lin9 и Lin11) для двух образцов (2 и 5).

В белорусской линейке генетическое разнообразие показали пять маркеров (Lu17, Lu28, Lu8, Flu7, Lu23), при этом количество образцов варьировалось от одного до шести (образцы 3–5, 7, 8, 11–14, 16). Только один образец (5) продемонстрировал гетерогенность с помощью обеих линеек праймеров, для остальных образцов полиморфизм был выявлен при помощи или только первого (образец 2), или второго (образцы 3, 4, 7, 8, 11–14, 16) маркерного комплекса. Для данной линии показатель «среднее количество полиморфных маркеров на образец» составляет 1,63.

В отечественной линейке для линии П-268 (табл. 6) полиморфизм был выявлен у пяти маркеров: Lin5, Lin6, Lin7 и Lin11 проявили активность у одного образца (7), в то время как Lin8 — у пяти.

Во второй группе генетическое разнообразие продемонстрировали пять маркеров (Lu3, Lu28, Flu7, Flu8, Flu25), при этом количество образцов варьировалось от одного до трех (образцы 5, 7, 10).

Гетерогенность была зафиксирована у двух образцов (5 и 7) с использованием обеих линеек, в то время как остальные образцы проявили

Таблица 3. Характеристика SSR-локусов использованных маркерных комплексов

Table 3. Characteristics of SSR-loci of the marker complexes used

SSR-локус	Число аллелей	Частота основного аллеля	PIC
SSR-комплекс разработки ФНЦ ЛК			
Lin1	1	1	0
Lin2	2	0,851	0,255
Lin3	3	0,735	0,427
Lin4	4	0,685	0,321
Lin5	4	0,664	0,335
Lin6	3	0,765	0,358
Lin7	4	0,624	0,434
Lin8	5	0,552	0,562
Lin9	4	0,723	0,369
Lin10	2	0,784	0,366
Lin11	3	0,642	0,464
Среднее значение на локус	3,3	0,722	0,357
SSR-комплекс разработки ИГиЦ			
Flu 7	3	0,634	0,418
Lu 8	4	0,533	0,434
Lu 17	4	0,724	0,363
Lu 28	5	0,456	0,587
Lu 3	3	0,575	0,504
Lu 21	3	0,511	0,632
Lu 13	3	0,622	0,418
Lu 23	4	0,486	0,555
Flu 8	4	0,712	0,335
Flu 25	4	0,642	0,481
Среднее значение на локус	3,7	0,589	0,473

полиморфизм либо только с отечественным маркерным комплексом (образцы 12–14 и 16), либо исключительно с белорусским (образец 10). У этой линии отмечен самый низкий показатель среднего количества полиморфных маркеров на образец — 0,94.

Для линии М-326 (табл. 7) полиморфизм продемонстрировали 7 маркеров комплекса ФНЦ ЛК из 11 (Lin4, Lin5, Lin6, Lin7, Lin8, Lin9 и Lin11) для пяти образцов (1, 2, 9, 11, 13).

В маркерной линейке разработки ИГиЦ активность показали восемь маркеров (Lu17, Lu3, Lu8, Flu7, Flu8, Flu25, Lu21, Lu23), при этом количество образцов варьировалось от одного до шести (образцы 1, 2, 8, 9, 11, 13).

Для образцов 1, 2 и 11 14 маркеров из обеих линеек были полиморфны, для образца 9 — 13, для образца 13 — только по одному. Для образца 8 гетерогенность показал только один маркер из второй маркерной линейки. Данная линия продемонстрировала самое высокое значение показателя среднего количества полиморфных маркеров на образец — 3,63.

В целом следует отметить достаточно высокую согласованность данных между двумя маркерными комплексами, составившую 65% совпадений результатов.

Таблица 4. Полиморфизм, наблюдаемый при использовании двух маркерных комплексов для линии льна 157/Д-5
Table 4. Polymorphism observed using two marker complexes for flax line 157/D-5

Образец	SSR-комплекс разработки ФНЦ ЛК											SSR-комплекс разработки ИГиЦ											Общее кол-во маркеров, показавших полиморфизм		
	Lin1	Lin2	Lin3	Lin4	Lin5	Lin6	Lin7	Lin8	Lin9	Lin10	Lin11	Кол-во маркеров, показавших полиморфизм	Lu17	Lu3	Lu28	Lu8	Flu7	Flu8	Lu13	Flu25	Lu21	Lu23		Кол-во маркеров, показавших полиморфизм	
157/Д-5 (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
157/Д-5 (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
157/Д-5 (3)	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	3	5	
157/Д-5 (4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	
157/Д-5 (5)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
157/Д-5 (6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	2	
157/Д-5 (7)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	1	
157/Д-5 (8)	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	5	7	
157/Д-5 (9)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
157/Д-5 (10)	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	4	6	
157/Д-5 (11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	
157/Д-5 (12)	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	4	6	
157/Д-5 (13)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	
157/Д-5 (14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	
157/Д-5 (15)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	
157/Д-5 (16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	
Кол-во образцов, показавших полиморфизм	–	–	–	–	–	4	–	6	–	–	–	–	1	5	5	–	–	1	4	1	4	–	–	–	

Таблица 5. Полиморфизм, наблюдаемый при использовании двух маркерных комплексов для линии льна Р-256-02
Table 5. Polymorphism observed using two marker complexes for flax line R-256-02

Образец	SSR-комплекс разработки ФНЦ ЛК											SSR-комплекс разработки ИГиЦ											Общее кол-во маркеров, показавших полиморфизм	
	Lin1	Lin2	Lin3	Lin4	Lin5	Lin6	Lin7	Lin8	Lin9	Lin10	Lin11	Кол-во маркеров, показавших полиморфизм	Lu17	Lu3	Lu28	Lu8	Flu7	Flu8	Lu13	Flu25	Lu21	Lu23		Кол-во маркеров, показавших полиморфизм
P-256-02 (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
P-256-02 (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	1
P-256-02 (3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3	3
P-256-02 (4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2
P-256-02 (5)	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	6	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	4	10
P-256-02 (6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
P-256-02 (7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
P-256-02 (8)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
P-256-02 (9)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
P-256-02 (10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
P-256-02 (11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
P-256-02 (12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
P-256-02 (13)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2
P-256-02 (14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
P-256-02 (15)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
P-256-02 (16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
Кол-во образцов, показавших полиморфизм	–	–	–	1	1	–	1	1	2	–	1	–	1	–	5	4	6	–	–	–	–	3	–	–

Таблица 6. Полиморфизм, наблюдаемый при использовании двух маркерных комплексов для линии льна П-268

Table 6. Polymorphism observed using two marker complexes for flax line P-268

Образец	SSR-комплекс разработки ФНЦ ЛК											SSR-комплекс разработки ИГиЦ											Общее кол-во маркеров, показавших полиморфизм		
	Lin1	Lin2	Lin3	Lin4	Lin5	Lin6	Lin7	Lin8	Lin9	Lin10	Lin11	Кол-во маркеров, показавших полиморфизм	Lu17	Lu3	Lu28	Lu8	Flu7	Flu8	Lu13	Flu25	Lu21	Lu23		Кол-во маркеров, показавших полиморфизм	
П-268 (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (5)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3
П-268 (6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (7)	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	4	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	3	7
П-268 (8)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (9)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
П-268 (11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (12)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	1
П-268 (13)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	1
П-268 (14)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	1
П-268 (15)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
П-268 (16)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	1
Кол-во образцов, показавших полиморфизм	–	–	–	–	1	1	1	5	–	–	1	–	–	1	1	–	1	1	–	2	–	–	–	–	–

Таблица 7. Полиморфизм, наблюдаемый при использовании двух маркерных комплексов для линии льна М-326

Table 7. Polymorphism observed using two marker complexes for flax line M-326

Образец	SSR-комплекс разработки ФНЦ ЛК											SSR-комплекс разработки ИГиЦ											Общее кол-во маркеров, показавших полиморфизм	
	Lin1	Lin2	Lin3	Lin4	Lin5	Lin6	Lin7	Lin8	Lin9	Lin10	Lin11	Кол-во маркеров, показавших полиморфизм	Lu17	Lu3	Lu28	Lu8	Flu7	Flu8	Lu13	Flu25	Lu21	Lu23		Кол-во маркеров, показавших полиморфизм
M-326 (1)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	7	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	7	14
M-326 (2)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	7	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	7	14
M-326 (3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (8)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
M-326 (9)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	7	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	6	13
M-326 (10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (11)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	7	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	7	14
M-326 (12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (13)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
M-326 (14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (15)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
M-326 (16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
Кол-во образцов, показавших полиморфизм	–	–	–	4	4	4	4	5	4	–	4	–	4	1	–	4	6	4	–	4	4	2	–	–

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что обе маркерные системы выявили значительную степень гетерогенности, что указывает на их высокую разрешающую способность. Для всех исследованных образцов можно отметить следующие закономерности:

- совпадение результатов обоих комплексов наблюдается преимущественно у образцов с высокой степенью гетерогенности;
- различия в показателях комплексов чаще выявлялись у образцов с низкой степенью полиморфизма;
- наиболее информативными оказались комбинации обеих систем для выявления генетической неоднородности.

Выводы/Conclusions

Была оценена генетическая однородность линий льна с применением двух комплексов SSR-маркеров собственной и зарубежной разработки. В результате проведенного анализа установлены достоверные различия между индивидуальными образцами исследованных линий льна. Наибольшая степень вариабельности была характерна для линии М-326, у шести образцов которой выявлена значительная гетерогенность в диапазоне от 7 до 14 полиморфных значений маркеров.

Наименьшее генетическое разнообразие продемонстрировала линия П-268, где лишь образец под номером 7 имел выраженное отличие, в то время как остальные образцы показали единичные или малые случаи полиморфизма.

Выявленная генетическая неоднородность исследованных образцов подтвердила высокую разрешающую способность примененных маркерных комплексов. Сравнительная характеристика коэффициента полиморфизма PIC показала, что SSR-комплекс разработки ФНЦ ЛК обладает меньшей разрешающей способностью, чем комплекс белорусской разработки, продемонстрировавший более высокую информативность. При этом оба использованных комплекса можно считать комплементарными, поскольку каждый из них способен выявлять уникальные аллели для индивидуальных образцов.

Данный подход станет одной из основ комплекса методов, применяемых для сохранения стабильности и чистоты сортов. Следующим этапом исследования должно стать применение выявленных информативных маркеров к более широкой выборке сортов льна, прошедших несколько последовательных циклов репродукции, для определения закономерностей и особенностей накопления генетических примесей в сортовом материале.

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 в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме FGSS-2024-0002.

FUNDING

Scientific research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia on topic FGSS 2024-0002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базанов Т.А., Ушаповский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Использование SSR-маркеров для определения генетической однородности сортов технических и масличных культур. *Технические культуры*. 2023; 3(4): 3–16. <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2023.27.37.001>
2. Hoque A., Fiedler J.D., Rahman M. Genetic diversity analysis of a flax (*Linum usitatissimum* L.) global collection. *BMC Genomics*. 2020; 21: 557. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06922-2>
3. Markulin L. et al. On "The Most Useful" Oleaginous Seeds: *Linum usitatissimum* L., A Genomic View with Emphasis on Important Flax Seed Storage Compounds. Tombuloglu H., Unver T., Tombuloglu G., Hakeem K.R. (eds.). *Oil Crop Genomics*. Cham: Springer. 2021; 135–157. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70420-9_8
4. Симагин А.Д., Ханбабаева О.Е., Голиванов Я.Ю., Захарова С.А. Биологические особенности цветения и опыления у льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.). *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023; (6). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.54>
5. Gulla B., Jadhav V., Dudhare M.S. Assessment of genetic diversity and physiochemical analysis of linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes. *The Pharma Innovation Journal*. 2021; 10(2): 328–331.
6. Янышина А.А. Сортная идентификация партий семян льна-долгунца в первичном семеноводстве научно-исследовательских учреждений Российской Федерации. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 157–161. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-157-161>

REFERENCES

1. Bazanov T.A., Ushchapovsky I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V., Mikhaylova P.D. The use of SSR-markers to determine the genetic homogeneity of industrial and oil crop species. *Technical crops*. 2023; 3(4): 3–16 (in Russian). <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2023.27.37.001>
2. Hoque A., Fiedler J.D., Rahman M. Genetic diversity analysis of a flax (*Linum usitatissimum* L.) global collection. *BMC Genomics*. 2020; 21: 557. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06922-2>
3. Markulin L. et al. On "The Most Useful" Oleaginous Seeds: *Linum usitatissimum* L., A Genomic View with Emphasis on Important Flax Seed Storage Compounds. Tombuloglu H., Unver T., Tombuloglu G., Hakeem K.R. (eds.). *Oil Crop Genomics*. Cham: Springer. 2021; 135–157. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70420-9_8
4. Simagin A.D., Khanbabaeva O.E., Golivanov Ya.Yu., Zakharova S.A. Biological specifics of blooming and pollination in common flax (*Linum usitatissimum* L.). *International Research Journal*. 2023; (6) (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.54>
5. Gulla B., Jadhav V., Dudhare M.S. Assessment of genetic diversity and physiochemical analysis of linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes. *The Pharma Innovation Journal*. 2021; 10(2): 328–331.
6. Yanyshina A.A. Varietal identification of flax seeds batches in primary seed breeding of the Russian Federation research institutions. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 157–161 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-157-161>

7. Paliwal S. *et al.* Molecular Advances to Combat Different Biotic and Abiotic Stresses in Linseed (*Linum usitatissimum* L.): A Comprehensive Review. *Genes*. 2023; 14(7): 1461. <https://doi.org/10.3390/genes14071461>
8. Pasquali E., Palumbo F., Barcaccia G. Assessment of the Genetic Distinctiveness and Uniformity of Pre-Basic Seed Stocks of Italian Ryegrass Varieties. *Genes*. 2022; 13(11): 2097. <https://doi.org/10.3390/genes13112097>
9. Koçak M.Z., Kumlay A.M., Alma M.H. Morphological and molecular characterization of flax (*Linum usitatissimum* L.) accessions obtained from different locations in Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2023; 70(8): 2235–2261. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01589-6>
10. Bharathi Y., Prabhavathi K. A review on genetic purity assessment of seeds using molecular markers. *Environment and Ecology*. 2022; 40(4B): 2359–2363.
11. Chen C., Liu Y. Genetic diversity and distinctness of flax (*Linum usitatissimum* L.) based on morphological and simple sequence repeat (SSR) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024; 71(8): 4763–4777. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-01933-4>
12. Zhernova D.A. *et al.* History and prospects of flax genetic markers. *Frontiers in Plant Science*. 2024; 15: 1495069. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1495069>
13. Azeem A., Hafeez A., Ul-Allah S. Molecular Breeding for Crop Plants: Improvement and Practices. Husen A. (ed.). *Agricultural Crop Improvement*. Boca Raton: CRC Press. 2025; 64–74. <https://doi.org/10.1201/9781032630366-5>
14. Sinha S., Singh R.S., Kumar A., Kesari R., Kumari A., Singh P.K. Molecular Markers and Their Applications in Marker-Assisted Selection in Industrial Crops. Kumar N. (ed.). *Industrial Crops Improvement. Biotechnological Approaches for Sustainable Agricultural Development*. Cham: Springer. 2025; 79–96. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75937-6_5
15. Li P., Moumen I., Cloutier S., You F.M., Fofana B. (eds.). *The Flax Genome*. Cham: Springer. 2023; 273–294. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16061-5_13
16. Nair R.J., Pandey M.K. Role of Molecular Markers in Crop Breeding: A Review. *Agricultural Reviews*. 2024; 45(1): 52–59. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2322>
17. Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*. 1987; 19(1): 11–15.
18. Qi Y. *et al.* Genetic analysis and identification of major locus and candidate genes linked to thousand-seed weight in flax (*Linum usitatissimum*). *Industrial Crops and Products*. 2025; 230: 121006. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121006>
19. Базанов Т.А., Ущачовский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023; 184(1): 163–176. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176>
20. Богдан В.З., Лемеш В.А., Богданова М.В., Богдан Т.М., Литарная М.А. Генетическая паспортизация новых сортов льна-долгунца белорусской селекции с использованием молекулярных маркеров. *Земледелие и растениеводство*. 2021; (6): 48–52.
21. Peakall R., Smouse P.E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*. 2006; 6(1): 288–295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>
7. Paliwal S. *et al.* Molecular Advances to Combat Different Biotic and Abiotic Stresses in Linseed (*Linum usitatissimum* L.): A Comprehensive Review. *Genes*. 2023; 14(7): 1461. <https://doi.org/10.3390/genes14071461>
8. Pasquali E., Palumbo F., Barcaccia G. Assessment of the Genetic Distinctiveness and Uniformity of Pre-Basic Seed Stocks of Italian Ryegrass Varieties. *Genes*. 2022; 13(11): 2097. <https://doi.org/10.3390/genes13112097>
9. Koçak M.Z., Kumlay A.M., Alma M.H. Morphological and molecular characterization of flax (*Linum usitatissimum* L.) accessions obtained from different locations in Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2023; 70(8): 2235–2261. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01589-6>
10. Bharathi Y., Prabhavathi K. A review on genetic purity assessment of seeds using molecular markers. *Environment and Ecology*. 2022; 40(4B): 2359–2363.
11. Chen C., Liu Y. Genetic diversity and distinctness of flax (*Linum usitatissimum* L.) based on morphological and simple sequence repeat (SSR) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024; 71(8): 4763–4777. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-01933-4>
12. Zhernova D.A. *et al.* History and prospects of flax genetic markers. *Frontiers in Plant Science*. 2024; 15: 1495069. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1495069>
13. Azeem A., Hafeez A., Ul-Allah S. Molecular Breeding for Crop Plants: Improvement and Practices. Husen A. (ed.). *Agricultural Crop Improvement*. Boca Raton: CRC Press. 2025; 64–74. <https://doi.org/10.1201/9781032630366-5>
14. Sinha S., Singh R.S., Kumar A., Kesari R., Kumari A., Singh P.K. Molecular Markers and Their Applications in Marker-Assisted Selection in Industrial Crops. Kumar N. (ed.). *Industrial Crops Improvement. Biotechnological Approaches for Sustainable Agricultural Development*. Cham: Springer. 2025; 79–96. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75937-6_5
15. Li P., Moumen I., Cloutier S., You F.M., Fofana B. (eds.). *The Flax Genome*. Cham: Springer. 2023; 273–294. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16061-5_13
16. Nair R.J., Pandey M.K. Role of Molecular Markers in Crop Breeding: A Review. *Agricultural Reviews*. 2024; 45(1): 52–59. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2322>
17. Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*. 1987; 19(1): 11–15.
18. Qi Y. *et al.* Genetic analysis and identification of major locus and candidate genes linked to thousand-seed weight in flax (*Linum usitatissimum*). *Industrial Crops and Products*. 2025; 230: 121006. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121006>
19. Bazanov T.A., Ushchapovsky I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V., Mikhailova P.D. Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2023; 184(1): 163–176 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176>
20. Bogdan V.Z., Lemesh V.A., Bogdanova M.V., Bogdan T.M., Litarnaya M.A. Genetic passport system of Belarusian selection new fiber flax varieties with the use of molecular markers. *Crop Farming and Plant Growing*. 2021; (6): 48–52 (in Russian).
21. Peakall R., Smouse P.E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*. 2006; 6(1): 288–295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>

ОБ АВТОРАХ

Тарас Александрович Базанов

кандидат химических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией
t.bazanov@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>

Игорь Валентинович Ущачовский

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник, заместитель директора
по науке
i.uschapovsky@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Татьяна Александровна Рожмина

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией
t.rozhmina.trk@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8204-7341>

ABOUT THE AUTHORS

Taras Aleksandrovich Bazanov

Candidate of Chemical Sciences,
Leading Researcher, Head of the Laboratory
t.bazanov@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>

Igor Valentinovich Ushchapovsky

Candidate of Biological Sciences,
Leading Researcher, Deputy Director
of Science
i.uschapovsky@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Tatiana Aleksandrovna Rozhmina

Doctor of Biological Sciences,
Leading Researcher, Head of the Laboratory
t.rozhmina.trk@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8204-7341>

Наталья Николаевна Логинова

научный сотрудник

n.loginova@fncl.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>**Екатерина Витальевна Минина**

младший научный сотрудник, аспирант

ev.smirnova@fncl.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>**Полина Дмитриевна Вересова**

младший научный сотрудник

p.mikhaylova@fncl.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский пр-т, 17/56, Тверь, 170041, Россия

Natalya Nikolaevna Loginova

Research Associate

n.loginova@fncl.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>**Ekaterina Vitalievna Minina**

Junior Researcher, Graduate Student

ev.smirnova@fncl.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>**Polina Dmitrievna Veresova**

Junior Researcher

p.mikhaylova@fncl.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

Federal Research Center for Bast Fiber Crops,
17/56 Komsomolsky prospekt, Tver, 170041, Russia

Р.А. Шахмирзоев ✉

М.-Р.А. Казиев

Федеральный аграрный научный
центр Республики Дагестан,
Махачкала, Россия

✉ russad66@mail.ru

Поступила в редакцию: 10.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Р.А. Шахмирзоев, М.-Р.А. Казиев

Ruslan A. Shakhmirzoev ✉

Magomed-Rasul A. Kaziev

Dagestan Agriculture Science Center,
Makhachkala, Russia

✉ russad66@mail.ru

Received by the editorial office: 10.09.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Shakhmirzoev R. A., Kaziev M.-R.A.

Агротехнические приемы и критерии адаптации фундука (*Corylus avellana* L.) в предгорьях Дагестана

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты исследований по оптимизации агротехники возделывания фундука сорта Ата-баба в условиях юго-восточной предгорной подпровинции Дагестана. Установлено, что оптимальной нагрузкой для куста являются 8–10 скелетных побегов, что обеспечивает урожайность на уровне 2,3 кг с куста (1,15 т/га). Доказано преимущество штамбовой формы ведения культуры над традиционной кустовой: урожайность при штамбовой форме составила 1,6 т/га против 0,9 т/га, что практически в два раза выше. Проведена оценка агроклиматических ресурсов подпровинции, подтвердившая возможность устойчивого возделывания культуры, однако отмечен риск повреждения возвратными заморозками мужских соцветий. На основе анализа разработаны критерии оценки технологичности и адаптивности сортов фундука. Определена перспективная программа научно-исследовательских работ по изучению интродуцированных сортов. Результаты работы имеют практическую значимость для развития промышленного ореховодства в регионе.

Ключевые слова: фундук, сорт, юго-восточная предгорная подпровинция, климат, фенология, нагрузка, критерии, формирование кроны, скелетные ветви, урожайность, *Corylus avellana*

Для цитирования: Шахмирзоев Р.А., Казиев М.-Р.А. Агротехнические приемы и критерии адаптации фундука (*Corylus avellana* L.) в предгорьях Дагестана. *Аграрная наука*. 2025; 401(12): 164–170.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-164-170>

Agrotechnical techniques and criteria for the adaptation of hazelnuts (*Corylus avellana* L.) in the foothills of Dagestan

ABSTRACT

The article presents the results of research on the optimization of agricultural techniques for cultivating the Ata-baba hazelnut variety in the conditions of the southeastern foothill subprovince of Dagestan. It was established that the optimal load for a bush is 8–10 skeletal shoots, which ensures a yield of 2.3 kg per bush (1.15 t/ha). The advantage of a standard (tree-like) formation over the traditional bush form was demonstrated: yield with the standard form reached 1.6 t/ha compared to 0.9 t/ha with the bush form, representing an almost two-fold increase. An assessment of the agroclimatic resources of the subprovince was conducted, confirming the feasibility of sustainable cultivation of the crop, although a risk of damage to male inflorescences by late spring frosts was noted. Based on the analysis, criteria for evaluating the technological suitability and adaptability of hazelnut varieties were developed. A promising research program for studying introduced varieties has been defined. The results of the work are of practical importance for the development of commercial nut farming in the region.

Key words: hazelnut, variety, southeastern foothill subprovince, climate, phenology, load, criteria, tree training, skeletal branches, yield, *Corylus avellana*

For citation: Shakhmirzoev R.A., Kaziev M.-R.A. Agricultural Practices and Adaptation Parameters for Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Cultivation in the Dagestan Foothills. *Agrarian science*. 2025; 401(12): 164–170 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-164-170>

Введение/Introduction

Среди орехоплодных культур фундук (*Corylus avellana* L.) занимает лидирующее положение по комплексу хозяйственно полезных показателей, представляя собой ценную лесоплодную породу пищевого, технического и лекарственного назначения [1].

Плоды характеризуются высоким содержанием питательных веществ, витаминов и микроэлементов, что обуславливает их потребление в сыром виде и использование в качестве незаменимого сырья для кондитерской и пищевой промышленности [1]. Фундук, являясь высококалорийным продуктом длительного хранения, является важным компонентом для организации альтернативного питания населения.

Помимо этого, насаждения данной культуры выполняют почвозащитную функцию, эффективно предотвращая эрозионные процессы [2–4]. Указанные достоинства наряду с устойчивым спросом на мировом рынке определяют экономическую целесообразность его производства.

Несмотря на широкий ареал произрастания, включающий и территорию России, основные объемы мирового производства фундука сосредоточены в Турции, Китае, Италии и странах Кавказа [5]. В связи с этим в контексте реализации «Доктрины продовольственной безопасности России» вопросы развития отечественного промышленного ореховодства приобретают стратегическое значение.

Многочисленные исследования подтверждают наличие значительного потенциала для успешной интродукции и культивирования фундука в различных почвенно-климатических зонах страны как в плантационной, так и в лесной культуре [6–9].

Ключевым направлением интенсификации производства является совершенствование сортамента, направленное на получение стабильных урожаев высокого качества [10, 11]. Современная селекция предъявляет к новым сортам комплекс требований, включающий урожайность на уровне 1,6–2,0 т/га, морозоустойчивость до минус 28–30 °С (не более 0–1 балла повреждений), засухоустойчивость (до 1,0 балла), скороплодность (вступление в плодоношение на 3–4-й год), устойчивость к основным болезням и вредителям (0–1 балл) и ограничение высоты куста 3,0–3,5 м [12].

Значительные успехи в решении этой задачи достигнуты селекционерами ВНИИЦИСК, создавшими современные высокопродуктивные сорта, такие как Карамановский, Кавказ, Сочи, Кубань, Кристина, в полной мере отвечающие указанным критериям [13].

Перспективные формы лещины, обеспечивающие урожайность до 3,32–3,35 кг с куста, выявлены и в Республике Адыгея [14]. Для условий Центрально-Чернозёмного региона ФНЦ им. И.В. Мичурина предложен ряд морозостойких сортов, в том числе

Щелкунчик, Московский рубин, Академик Яблочкин [15].

В настоящее время в Республике Дагестан промышленное возделывание фундука развито недостаточно: существующие насаждения, занимающие около 3300 га, сосредоточены преимущественно в хозяйствах населения и характеризуются низкой продуктивностью (0,9–1,0 кг/куст). Однако реализация масштабного инвестиционного проекта по закладке плантаций площадью 2700 га на юго-востоке предгорной подпровинции (ООО «Полоса») с использованием отечественных и зарубежных сортов свидетельствует о растущем интересе к данной культуре.

Создание промышленных насаждений фундука в Республике Дагестан обуславливает настоятельную необходимость проведения детальных научных исследований, охватывающих весь производственный цикл — от подбора сортов и разработки агротехники до переработки и выпуска конечной продукции, ориентированной на запросы потребителя.

Таким образом, в современных условиях комплексная оценка агроклиматических ресурсов юго-восточной предгорной подпровинции Дагестана для возделывания перспективных сортов фундука и разработка на этой основе элементов сортовой агротехники представляются научной и практической задачей, имеющей высокую актуальность.

Цель исследования — разработка научно обоснованных элементов сортовой агротехники возделывания фундука (на примере сорта Ата-баба) в условиях юго-восточной предгорной подпровинции Республики Дагестан для повышения продуктивности и устойчивости насаждений.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работа выполнена в отделе плодовоовощеводства и переработки ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» (ФАНЦ РД) в соответствии с программой НИР по разделу «Хозяйственно-технологическая оценка новых интродуцированных сортов плодовых и орехоплодных культур в условиях юго-восточной предгорной подпровинции Дагестана» на базе опытно-экспериментального участка в Сулейман-Стальском районе в 2019–2024 гг.

Объектом исследований служил сорт фундука Ата-баба народной селекции из Азербайджана. Сорт характеризуется сильным ростом, шаровидной, сплюснутой кроной, поздним сроком созревания и вступает в плодоношение на 4–5-й год. Плоды с массой 2,5–3,0 г, округло-продолговатые, выход ядра — 45%, содержание жира — 68%. Сорт устойчив к вредителям и болезням. Характеризуется высокой урожайностью и качеством орехов.

Исследования выполняли в соответствии с «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур¹» и «Методическим рекомендациям²». Агрохимическая

характеристика почвы опытного участка дана на основании морфологического описания разрезов и анализа почвенных образцов.

Почвенный покров участка представлен лугово-каштановыми почвами.

Мощность горизонта А + В 30–40 см с содержанием гумуса 2,1–2,8%, обеспеченность подвижным фосфором (1,8–2,0 мг) и гидролизуемым азотом (3,8–4,5 мг) средняя, обменным калием — высокая (40–53 мг на 100 г почвы). Агрофизические и агрохимические свойства почвы благоприятные для роста и развития плодовых растений.

В климатическом отношении территория характеризуется как умеренно теплая, полусухая, переходящая к субтропической с вегетационным периодом 230–240 дней³.

Основные черты: засушливость, обилие тепла и света.

Среднегодовая температура воздуха 9,7–12,5 °С, осадки — 370–405 мм.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом описательной статистики и дисперсионного анализа⁴, используя пакеты программ Microsoft Excel и Statistica (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Климатические условия района исследований в годы наблюдений характеризуются как умеренно континентальные, засушливые с переходом к субтропическим при продолжительности

вегетационного периода 230–240 дней. Многолетние данные свидетельствуют, что среднегодовая температура воздуха составляет 12,3–13,0 °С с абсолютным максимумом 42–46 °С (июль — август) и минимумом минус 8,9–13,7 °С. Сумма активных температур (выше +10 °С) достигает 3496 °С, количество осадков — 405 мм (табл. 1, 2).

Проведенная оценка климатических ресурсов подтверждает, что почвенно-климатические условия подпровинции в целом обеспечивают возможность устойчивого возделывания фундука. За период исследований (2022–2024 гг.) среднегодовая температура находилась в пределах нормы, минимальная опускалась до -18 °С (в феврале), максимальная превышала +40 °С (в июле).

Температурный режим в критические фенологические фазы складывался следующим образом: в период цветения (февраль — март) — 4–5 °С, в фазу образования завязи (июнь — июль) — 22–24 °С, в период плодоношения (август) — около 25 °С (табл. 1).

Обеспеченность осадками за годы исследований была недостаточной и составила в среднем 376 мм при многолетней норме 405 мм (табл. 2).

Фенологические наблюдения установили, что у сорта Ата-баба начало формирования плодовых почек отмечается в III декаде апреля (22.04), а продолжительность этого периода составляет в среднем 58 дней (апрель — май) (табл. 3).

Закладка мужских соцветий происходит в июне — июле, что указывает на продолжительность этого процесса. Сорт относится к

Таблица 1. Среднемесячная температура воздуха, °С (метеостанция «Касумкент»), 2022–2024 гг.

Table 1. Average monthly air temperature, °C ("Kasumkent" weather station), 2022–2024

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2022	0,4	2,8	1,3	13,1	14,6	22,0	23,7	24,8	19,9	13,8	7,9	2,1	12,2
2023	0,6	0,4	8,6	11,4	16,0	20,7	23,3	25,0	17,7	13,1	10,3	4,7	12,7
2024	1,2	3,4	4,8	15,9	14,6	23,2	24,4	23,7	19,4	12,3	6,5	3,0	12,7
Среднее за 3 года	0,7	2,2	4,9	13,5	15,0	21,9	23,8	24,5	19,0	13,1	8,2	3,3	12,5
Среднее многолетнее*	1,0	1,0	4,0	11,0	16,0	20,0	23,0	23,0	19,0	13,0	7,0	3,0	11,7
Откл. +/-	03	-1,2	-0,9	-2,5	1	-1,9	-0,8	-1,5	0	-0,1	-1,2	-0,3	-0,8

Примечание: * – среднее за 30 лет

Таблица 2. Среднемесячное количество осадков, мм (метеостанция «Касумкент»), 2022–2024 гг.

Table 2. Average monthly precipitation, mm ("Kasumkent" weather station), 2022–2024

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2022	11	35	65	8	58	39	18	13	32	43	19	25	339
2023	5	39	4	75	35	71	24	11	41	22	26	24	396
2024	7	17	30	8	82	47	44	13	19	66	37	22	392
Среднее за 3 года	14,3	18,6	33,0	43,6	47	52	26,6	12,3	30,6	43,6	27,3	25,3	376,2
Среднее многолетнее*	25	28	30	40	38	31	25	27	43	50	37	31	405
Отклонение	10,7	9,4	-3	-3,6	-9	-21	-1,6	14,7	12,4	6,4	9,7	5,7	25,8

Примечание: * – среднее за 30 лет

¹ Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК. 1999; 608.

² Егоров Е.А. и др. Методика опытного дела и методические рекомендации Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства. Краснодар: СКЗНИИС и В современные методология, инструментальной оценки и отбора селекционного материала садовых культур винограда. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ. 2017; 282.

³ Агроклиматические ресурсы Республики Дагестан.

⁴ <https://spravochnik.ru/grografi/prirodnye-osobnosti> I resursi/prirodnye-uslovyia I resursy-dagestana

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Колос. 2010; 415.

Таблица 3. Сроки прохождения фенологических фаз развития фундука (сорт Ата-баба), 2022–2024 гг.

Table 3. Timing of the phenological phases of hazelnut development (Ата-baba variety), 2022–2024

Период	Начало	Конец	Продолжительность, дн.
Цветение мужских цветков	07.02	20.03	42
Цветение женских цветков	01.02	12.03	40
Формирование плодовых почек	22.04	20.06	58
Формирование мужских соцветий	07.06	15.07	37
Образование завязи	02.05	13.07	71
Созревание орехов	12.08	30.08	18
Продолжительность вегетационного периода	18.03	07.11	235

среднецветущим: начало цветения приходится на II декаду февраля, окончание — на конец марта. Повышенные температуры в июле — августе (23–25 °С) совпадают с фазой образования завязи и налива ядра, что обуславливает необходимость обеспечения влагой в этот период. Условия периода цветения имеют критическое значение для определения урожайности и периодичности плодоношения, особенно в свете наблюдающихся в Дагестане возвратных холодов, когда в марте — апреле температура может снижаться до минус 5–10 °С.

Одним из ключевых элементов агротехники фундука является система формирования куста и выбора способа ведения культуры. Анализ практики возделывания в регионах с развитым ореховодством (Закавказье, Краснодарский край, Черноморское побережье) показывает, что архитектура куста определяется схемой посадки и площадью питания. Так, в Республике Азербайджан на плантациях с размещением 8 × 8 м и 10 × 5 м кусты формируют с 20–28 скелетными ветвями, при схеме 4 × 4 м — с 9, при 6 × 6 м — с 12 и более [16].

В Краснодарском крае для посадок по схемам 5 × 3 м и 5 × 6 м рекомендовано формирование 6–8 скелетных ветвей, а при размещении 6 × 6 м — 10–12 [5]. Согласно исследованиям Н.Г. Загирова, в условиях центральной приморской зоны Дагестана максимальная продуктивность отмечена у кустов с 10–12 скелетными ветвями [17].

В рамках настоящей работы для определения оптимальной структуры куста сорта Ата-баба в условиях юго-восточной предгорной подпровин-

ции были изучены восьмилетние насаждения со средней высотой 3 м и диаметром кроны 3,0–3,5 м при разном количестве скелетных ветвей: 4–6, 8–10 и 10–12 шт. Данные, представленные в таблице 4, свидетельствуют о стабильности урожая при всех вариантах (табл. 4). Однако в среднем за трехлетний период исследований (2022–2024 гг.) максимальный урожай с куста — 2,3 кг (1,15 т/га) — был получен при наличии 8–10 скелетных ветвей, что на 0,77 кг превышает показатели других вариантов.

Продуктивность насаждений фундука определяется комплексом факторов, среди которых наряду с агротехникой, сортовым составом и почвенно-климатическими условиями существенную роль играет компактность кроны. В связи с этим в ФАНЦ РД были проведены сравнительные исследования влияния различных конструкций насаждений на урожайность культуры в центральной приморской зоне (2003–2005 гг.) [17] и в юго-восточной предгорной подпровинции (2022–2024 гг.) (рис. 1).

Сравнительная оценка, проведенная в юго-восточной предгорной подпровинции, показала, что при кустовой форме продуктивность в среднем составила 0,9 т/га, тогда как при штамбовой — 1,6 т/га (табл. 5).

Таким образом, урожайность при штамбовой форме ведения культуры оказалась практически в два раза выше, что согласуется с данными других исследователей, отмечающих преимущественно

Рис. 1. Плантации фундука на юго-восточной предгорной подпровинции. Фото автора

Fig. 1. Hazelnut plantations in the southeastern foothill subprovince. Photo by the author



Таблица 4. Урожай фундука в зависимости от количества скелетных ветвей (среднее за 2022–2024 гг.)

Table 4. Hazelnut yield depending on the number of skeletal branches (average for 2022–2024)

Сорт	Схема посадки	Год	6–8		8–10		10–12		Средний урожай с куста, кг
			урожай с куста, кг	т/га	урожай с куста, кг	т/га	Урожай с куста, кг	т/га	
Ата-баба	5 × 4 м	2022	1,3	0,65	1,9	0,95	1,8	0,9	1,7
		2023	1,7	0,85	2,3	1,15	1,8	0,9	1,93
		2024	1,6	0,8	2,6	1,30	1,14	0,6	1,78
Среднее			1,53	0,77	2,3	1,15	1,6	0,8	1,81
НСП ₀₅				0,20		0,18		0,12	

Таблица 5. Урожайность фундука (в сухой массе без скорлупы) при различных формах ведения куста в юго-восточной предгорной подпровинции (среднее за 2022–2024 гг.)

Table 5. Hazelnut yield (in dry weight without shell) under various forms of bush management in the southeastern foothill substructure (average for 2022–2024)

Варианты	Ед. изм.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Кустовая форма (схема 5 × 4 м)	кг/д т/га	1,70 0,85	1,93 0,96	1,78 0,90	1,80 0,90
Штамбовая форма (схема 5 × 4 м)	кг/д т/га	2,5 1,25	3,6 1,8	3,2 1,6	3,1 1,6
НСР ₀₅		0,45			

сильнорослый характер промышленных сортов [18, 19].

Применение штамбовой системы в промышленных плантациях способствует повышению компактности и освещенности кроны, снижению поражаемости болезнями, возможности механизации уборочных работ и в конечном счете росту продуктивности, что ярко видно на примере растений сорта Ата-баба (рис. 2).

Учитывая, что современный уровень производства фундука в регионе не соответствует его потенциальным возможностям, в условиях юго-восточной предгорной подпровинции Дагестана начаты исследования по изучению сортов отечественной и зарубежной селекции с целью выявления перспективных форм для создания адаптивных высокопродуктивных плантаций. Для системной оценки сортов предложены критерии технологичности и адаптивности [13], включающие такие параметры, как высота куста, компактность кроны, побегообразовательная способность, однородность созревания, устойчивость к низким и высоким температурам, засухе, вредителям и болезням (табл. 6, 7).

Установленные параметры ориентированы на интенсификацию производства. Ограничение высоты куста (2,5–3,0 м) и диаметра кроны (до 3 м) критически важно для формирования компактных насаждений с высокой плотностью посадки, облегчения ухода и сбора урожая. Нормирование побегообразовательной способности (до 25–30) и, что особенно значимо, порослеобразования (до 5–10 побегов) направлено на снижение трудозатрат на обрезку и предотвращение загущения кроны. Высокие требования к однородности созревания (85–90%) и легкой отделяемости ореха (90–95%) являются ключевыми для механизированной уборки и минимизации потерь, что напрямую влияет на экономическую эффективность плантационного возделывания.

Научный анализ выявляет дифференцированный подход к оценке устойчивости по фазам развития растения. Критерии морозоустойчивости устанавливают базовый порог для однолетних побегов на уровне минус 25–28 °С, что обеспечивает успешную перезимовку. Особое внимание уделено устойчивости генеративных органов

Рис. 2. Деревья фундука сорта Ата-баба. Фото автора

Fig. 2. Hazelnut trees of the Ata-baba variety. Photo by the author



Таблица 6. Критерии и параметры оценки технологических качеств сортов фундука

Table 6. Criteria and parameters for assessing the technological qualities of hazelnut varieties

Критерии	Признаки технологичности
Высота куста	2,5–3,0 м
Компактность габитуса кроны	до 3 м
Побегообразовательная способность	до 25–30
Порослеобразовательная способность	до 5–10 побегов
Однородность созревания плодов	до 85–90%
Размер обвертки (плюски)	меньше ореха, не закрывает
Хорошая отделяемость ореха от плюски	90–95% выпадает легко

Таблица 7. Критерии и параметры оценки адаптивного потенциала сортов фундука к абиотическим и биотическим факторам среды

Table 7. Criteria and parameters for assessing the adaptive potential of hazelnut varieties to abiotic and biotic environmental factors

Критерии	Признаки адаптивности
Устойчивость побегов однолетнего побега к низким температурам	до 25–28 °С
Устойчивость женских цветков к критическим температурам воздуха	до 15 °С
Устойчивость мужских соцветий сережек к критическим температурам воздуха	до 10 °С
Устойчивость к ранневесенним понижениям температуры воздуха в стадии оплодотворения	до 1 °С
Устойчивость в летний период к экстремально высоким температурам воздуха, дефицит влаги в почве не более 20 дней	до 30 °С, до 25 мм в слое почвы 0–20 см
Устойчивость к вредителям, балл:	
почковые вредители	до 0,5
фундучный усач	до 1,5
фундучный долгоносик	до 1,0
мраморно-коричневый клоп	до 1,0
Устойчивость к болезням	до 1,0

к возвратным заморозкам как основному лимитирующему фактору урожайности в регионе.

Установлено, что мужские соцветия обладают меньшей толерантностью (критический порог -10°C) по сравнению с женскими цветками (-15°C), при этом фаза оплодотворения является наиболее уязвимой с критическим порогом всего -1°C . Для летнего периода актуален комплексный критерий, объединяющий устойчивость к экстремально высоким температурам (до $+30^{\circ}\text{C}$) и дефициту почвенной влаги, что направлено на отбор сортов, способных поддерживать продуктивность в условиях засухи. Оценка резистентности к вредным организмам проводится по балльной шкале (0–1) для основных вредителей и болезней, что соответствует принципам экологизированного земледелия и позволяет снижать пестицидную нагрузку.

Разработанный комплекс технологических приемов составляет научно обоснованный подход для селекции и сортоизучения, позволяющий создавать сорта с комплексной устойчивостью и стабильным плодоношением в специфических условиях Дагестана.

Выводы/Conclusions

Агроэкологические ресурсы юго-восточной предгорной подпровинции Республики Дагестан соответствуют критериям адаптивности, необходимым для получения стабильной продукции фундука. При этом основным лимитирующим фактором выступает риск повреждения мужских соцветий возвратными заморозками,

что обуславливает необходимость подбора сортов с поздним или растянутым периодом цветения.

Проведенные исследования подтверждают, что сортовой состав и специализированная агротехника являются ключевыми факторами повышения продуктивности и конкурентоспособности продукции. Для сорта Ата-баба в условиях юго-восточного предгорья Дагестана установлено, что оптимальная нагрузка в 8–10 скелетных ветвей обеспечивает достоверное повышение урожайности на 50% по сравнению с вариантом 4–6 ветвей. Кроме того, штамбовая форма ведения культуры при схеме посадки 5×4 м является более предпочтительной, обеспечивая прирост урожайности в два раза по сравнению с традиционной кустовой формой.

Для устойчивого развития культуры фундука в предгорье Дагестана необходима закладка маточников перспективных сортов, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям.

В настоящее время на базе коллекции ФАНЦ РД уже изучаются образцы, отличающиеся стабильностью плодоношения и устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды.

Внедрение в производство современных технологий и перспективных сортов позволит хозяйствам различных форм собственности достичь высоких показателей экономической эффективности, что в свою очередь повысит заинтересованность производителей в возделывании фундука в промышленных масштабах.

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. Беседина Т.Д., Тутберидзе Ц.В., Тория Г.Б. Проблемы агроэкологии в возделывании фундука. *Новые технологии*. 2019; (4): 89–110. <https://elibrary.ru/khkyiq>
2. Хужахметова А.Ш., Семенютина А.В. Перспективы возделывания фундука в защитных лесонасаждениях. *Земледелие*. 2008; (6): 16–18. <https://elibrary.ru/juwnnx>
3. Козловская З.А. Фундук — новая культура в Белоруссии. *Наше сельское хозяйство*. 2018; (21): 119–124. <https://elibrary.ru/ccutml>
4. Чепурной В.С., Левченко Е.В., Карачанский А.Т. Влияние конструкции насаждений фундука на урожайность и формирование противозерозионных параметров древесных частей растений. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2017; 46: 66–79. <https://elibrary.ru/yjzqxq>
5. Беседина Т.Д., Тутберидзе Ц.В. Агроэкологические критерии возделывания фундука во влажных субтропиках России. *Научные труды СКФНЦСВВ*. 2019; 25: 104–113. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-25-104-113>
6. Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Пчихачев Э.К., Трушева Н.А. Объем выборки для оценки селекционных признаков орехов у сортов фундука. *Новые технологии*. 2022; 18(4): 118–127. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-4-118-127>
7. Казалиев К.К., Мурсалов М.М., Загиров Н.Г. Эффективность выращивания фундука в Дагестане. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2008; (1): 22–23. <https://elibrary.ru/ijpqin>

REFERENCES

1. Besedina T.D., Tutberidze Ts.V., Toriya G.B. Agrosphere problems in hazelnut cultivation. *New Technologies*. 2019; (4): 89–110 (in Russian). <https://elibrary.ru/khkyiq>
2. Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina A.V. Prospects of hazelnut cultivation in protective forest plantations. *Zemledelie*. 2008; (6): 16–18 (in Russian). <https://elibrary.ru/juwnnx>
3. Kozlovskaya Z.A. Hazelnuts — a new culture in Belarus. *Nashe sel'skoye khozyaystvo*. 2018; (21): 119–124 (in Russian). <https://elibrary.ru/ccutml>
4. Chepurnoy V.S., Levchenko E.V., Karachansky A.T. Influence of construction of hazelnut plantings on productivity and formation of antierosion parameters of plants wood parts. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2017; 46: 66–79 (in Russian). <https://elibrary.ru/yjzqxq>
5. Besedina T.D., Tutberidze Ts.V. Agroecological criteria for cultivation of hazelnuts in the humid subtropics of Russia. *Scientific works*. 2019; 25: 104–113 (in Russian). <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-25-104-113>
6. Biganova S.G., Sukhorukh Yu.I., Pchikhachev E.K., Trusheva N.A. Sample size for the evaluation of selection traits of nuts in hazelnut varieties. *New Technologies*. 2022; 18(4): 118–127 (in Russian). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-4-118-127>
7. Kazaliev K.K., Mursalov M.M., Zagirov N.G. Effectiveness of growing giant filbert in Dagestan. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skhozaystvennykh nauk*. 2008; (1): 22–23 (in Russian). <https://elibrary.ru/ijpqin>

8. Козловская З.А., Луговцова Н.В. Лещина. Дикие виды и фундук. *Плодоводство*. 2018; 30: 289–303. <https://elibrary.ru/uenfzj>
9. Мухаметова С.В. Показатели качества плодов фундука (*Corylus*). *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*. 2024; (3): 44–54. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.44>
10. Махно В.Г., Тутберидзе Ц.В., Беседина Т.Д. Характеристика сортов фундука нового поколения в коллекции ФИЦ СХЦ РАН. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2020; 75: 21–27. <https://elibrary.ru/axiihx>
11. Ренгартен Г.А. Селекционная работа с фундуком за рубежом и в России. *Вестник КрасГАУ*. 2022; (7): 28–35. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-7-28-35>
12. Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Пчихачев Э.К., Фомичева Е.О. Некоторые программные и методические аспекты селекции лещины (фундука) на Западном Кавказе. Аналитический обзор. *Новые технологии*. 2016; (4): 103–109. <https://elibrary.ru/xqvwst>
13. Рындин А.В., Тутберидзе Ц.В., Беседина Т.Д. Современные сорта фундука селекции Всероссийского научно-исследовательского института цветоводства и субтропических культур. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2019; 60: 71–83. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-6-60-71-83>
14. Исущева Т.А. Перспективы разведения лещины обыкновенной в условиях Республики Адыгея. *Новые технологии*. 2013; (4): 100–107. <https://elibrary.ru/rxqyhh>
15. Савельева Н.Н., Юшков А.Н., Земисов А.С., Чивилев В.В., Богданов Р.Е., Борзык Н.В. Перспективные генотипы фундука из коллекции ФНЦ им И.В. Мичурина для использования в селекции. *Современное садоводство*. 2023; (4): 48–54. <https://elibrary.ru/kfjddh>
16. Байрамова Д.Б., Султанов И.М. Урожайность и качество плодов интродуцированных сортов фундука. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2017; 144(1): 164–166. <https://elibrary.ru/zekqwr>
17. Загиров Н.Г., Джабаев Б.Р. Культура фундука в Дагестане. Монография. Махачкала: ДГСХА. 2004; 131.
18. Махно В.Г., Горобец С.А. Продукционный потенциал сортов фундука нового поколения. *Садоводство и виноградарство*. 2013; (6): 23–27. <https://elibrary.ru/rsugiz>
19. Дзябко Е.П., Бекасов В.В. Сорта фундука для интенсивных насаждений. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. *Материалы XXI Международной научной конференции*. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2024; 3: 52–57. <https://elibrary.ru/umachj>

ОБ АВТОРАХ

Руслан Абузарович Шахмирзоев

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела плодовоовощеводства и переработки
russad66@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4972-9535>

Магомед-Расул Абдусаламович Казиев

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-6929-9034>

Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан,
ул. им. А. Шахбанова, 30, Махачкала, 367014, Россия

8. Kozlovskaya Z.A., Lugovtsova N.V. *Corylus* sp. wild species and hazelnut. *Fruit Growing*. 2018; 30: 289–303 (in Russian). <https://elibrary.ru/uenfzj>

9. Mukhametova S.V. Quality indicators of hazelnut (*Corylus*) fruits. *Vestnik of Volga State University of Technology Series: Forest. Ecology. Nature Management*. 2024; (3): 44–54 (in Russian). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.44>

10. Makhno V.G., Tutberidze Ts.V., Besedina T.D. Characteristics of new generation hazelnut cultivars in the Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences crops collection. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2020; 75: 21–27 (in Russian). <https://elibrary.ru/axiihx>

11. Rengarten G.A. Selection work with hazelnuts abroad and in Russia. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; (7): 28–35 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-7-28-35>

12. Biganova S.G., Sukhorukikh Yu.I., Pchihachev E.K., Fomicheva E.O. Some program and methodical aspects of hazelnut selection in the Western Caucasus. Analytical overview. *New Technologies*. 2016; (4): 103–109 (in Russian). <https://elibrary.ru/xqvwst>

13. Ryndin A.V., Tutberidze Ts.V., Besedina T.D. Modern hazelnut varieties of All-Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops Breeding. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2019; 60: 71–83 (in Russian). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-6-60-71-83>

14. Isushcheva T.A. Prospects of breeding common hazel in the Republic of Adygea. *New Technologies*. 2013; (4): 100–107 (in Russian). <https://elibrary.ru/rxqyhh>

15. Savelyeva N.N., Yushkov A.N., Zemisov A.S., Chivilev V.V., Bogdanov R.E., Borzykh N.V. Promising hazelnut genotypes from the collection of the I.V. Michurin Federal Research Center for Breeding. *Modern gardening*. 2023; (4): 48–54 (in Russian). <https://elibrary.ru/kfjddh>

16. Bayramova D.B., Sultanov I.M. Crop productivity and quality of fruits introduced varieties of hazelnuts. *Collection of works of the State Nikitsky Botanical Gardens*. 2017; 144(1): 164–166 (in Russian). <https://elibrary.ru/zekqwr>

17. Zagirov N.G., Dzhabayev B.R. Hazelnut culture in Dagestan. Monograph. Makhachkala: *Dagestan State Agricultural Academy*. 2004; 131 (in Russian).

18. Makhno V.G., Gorobets S.A. The production potential of hazelnut varieties. *Horticulture and viticulture*. 2013; (6): 23–27 (in Russian). <https://elibrary.ru/rsugiz>

19. Dzyabko E.P., Bekasov V.V. Hazelnut varieties for intensive plantings. *Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex. Proceedings of the XXI International scientific conference*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2024; 3: 52–57. <https://elibrary.ru/umachj>

ABOUT THE AUTHORS

Ruslan Abuzarovich Shakhmirzoev

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Department of Fruit and Vegetable Growing and Processing
russad66@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4972-9535>

Magomed-Rasul Abdusalamovich Kaziev

Doctor of Agricultural Sciences,
Chief Researcher
<https://orcid.org/0000-0002-6929-9034>

Dagestan Agriculture Science Center, Makhachkala,
30 A. Shakhbanov Str., Makhachkala, 367014, Russia

УДК 620.951

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-171-178

К.А. Вельможина ✉

П.С. Шинкевич

Н.А. Политаева

А.Н. Чусов

В.И. Масликов

А.М. Опарина

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

✉ anizhomlev@mail.ru

Поступила в редакцию: 07.08.2025

Одобрена после рецензирования: 13.11.2025

Принята к публикации: 28.11.2025

© Вельможина К.А., Шинкевич П.С.,
Политаева Н.А., Чусов А.Н.,
Масликов В.И., Опарина А.М.

Влияние добавки из микроводорослей после культивирования в условиях повышенного содержания CO₂ на процесс анаэробного сбраживания органосодержащих отходов

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты экспериментального изучения процесса анаэробного сбраживания биомассы микроводорослей *Chlorella kessleri*, предварительно культивированной при повышенных концентрациях CO₂, с добавлением пищевых отходов и коровьего навоза в качестве инокулянта.

Цель работы — определение оптимального соотношения компонентов смеси для сбраживания (микроводоросли — пищевые отходы — инокулянт) по органическому углероду для максимального выхода биогаза и его энергетического потенциала (по содержанию метана в биогазе).

Установлено, что наилучшие результаты (1,018 л биогаза и 67,3% метана) достигаются при соотношении 1,0 г — 3,2 г — 4,0 г, тогда как максимальная доля метана (67,8%) зафиксирована при добавлении 1,2 г микроводорослей.

Полученные данные позволяют рекомендовать использование добавки из биомассы микроводорослей *Chlorella kessleri*, предварительно культивированной при повышенных концентрациях CO₂, для совместного анаэробного сбраживания с пищевыми отходами и инокулянтом в качестве энергоэффективного, экологичного и экономически целесообразного метода повышения биогазового потенциала композиционной смеси для сбраживания.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, биогаз, метан, микроводоросли, пищевые отходы, углекислый газ

Для цитирования: Вельможина К.А., Шинкевич П.С., Политаева Н.А., Чусов А.Н., Масликов В.И., Опарина А.М. Влияние добавки из микроводорослей после культивирования в условиях повышенного содержания CO₂ на процесс анаэробного сбраживания органосодержащих отходов. *Аграрная наука*. 2025; 401(12): 171–178.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-171-178>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-171-178

Ksenia A. Velmzhina ✉

Polina S. Shinkevich

Natalia A. Politaeva

Alexander N. Chusov

Vladimir I. Maslikov

Anna M. Oparina

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

✉ anizhomlev@mail.ru

Received by the editorial office: 07.08.2025

Accepted in revised: 13.11.2025

Accepted for publication: 28.11.2025

© Velmzhina K.A., Shinkevich P.S.,
Politaeva N.A., Chusov A.N., Maslikov V.I.,
Oparina A.M.

Effect of microalgae biomass cultivated under elevated CO₂ concentrations on the process of anaerobic digestion of organo-containing waste

ABSTRACT

This article presents the results of an experimental study on the anaerobic digestion of *Chlorella kessleri* microalgae biomass, preliminarily cultivated under elevated CO₂ concentrations. The digestion process was carried out with the addition of food waste and cow manure as an inoculum.

The aim of the work is to determine the optimal ratio of the components of the fermentation mixture (microalgae — food waste — inoculant) for organic carbon for maximum biogas yield and its energy potential (in terms of methane content in biogas).

It was found that the best results (1,018 liters of biogas and 67.3% methane) were achieved with a ratio of 1.0 g — 3.2 g — 4.0 g, while the maximum proportion of methane (67.8%) was recorded with the addition of 1.2 g of microalgae.

The obtained results support the recommendation to use *Chlorella kessleri* biomass, previously cultivated under elevated CO₂ conditions, as an additive in co-anaerobic digestion with food waste and inoculum. This approach is proposed as an energy-efficient, environmentally friendly, and economically viable method to enhance the biogas potential of feedstock mixtures.

Key words: anaerobic digestion, biogas, methane, microalgae, food waste, carbon dioxide

For citation: Velmzhina K.A., Shinkevich P.S., Politaeva N.A., Chusov A.N., Maslikov V.I., Oparina A.M. Effect of microalgae supplementation after cultivation under conditions of elevated CO₂ content on the process of anaerobic digestion of organo-containing waste. *Agrarian science*. 2025; 401(12): 171–178 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-171-178>

Введение/Introduction

Рост концентрации углекислого газа (CO_2) в атмосфере и его накопление в закрытых помещениях вызывают серьезную обеспокоенность как в контексте глобального изменения климата, так и с точки зрения здоровья и комфорта человека [1–3]. В настоящее время наиболее востребованными и экологичными являются биологические методы улавливания CO_2 , принцип действия которых основан на фотосинтетической активности микроорганизмов [4]. В частности, особое внимание уделяется микроводорослям благодаря их способности к эффективному преобразованию углекислого газа в биомассу, что наиболее актуально в контексте достижения целей устойчивого развития. В отличие от химических методов, биологические методы улавливания CO_2 не образуют токсичных отходов и могут быть интегрированы в процесс производства биоэнергии [5–7].

Биомасса микроводорослей, культивируемая в условиях повышенного содержания CO_2 , может быть использована в дальнейших технологических процессах, что создает условия для реализации безотходной технологии улавливания углекислого газа.

В связи с тем что вектор развития энергетического сектора мировой экономики направлен в сторону разработки альтернативных методов получения энергии из возобновляемых источников, наиболее целесообразным и актуальным является преобразование полученной биомассы микроводорослей в энергетический ресурс. Биомасса микроводорослей может являться ценным сырьем для получения биодизеля 3-го поколения [8], биоводорода [9] и биогаза.

Технологии получения биогаза при анаэробном сбраживании органических отходов зарекомендовали себя как экономически прибыльные и энергоэффективные процессы, реализуемые в различных странах. Биогазовые установки успешно внедряются как в развитых, так и в развивающихся странах, поддерживая концепцию циркулярной экономики и устойчивого развития [10–12].

Внедрение новых субстратов, оптимизация процессов и интеграция с другими видами производства энергии позволяют расширять масштабы применения биогазовых технологий и повышать их рентабельность [13, 14]. При анаэробном сбраживании органических отходов с использованием добавки из биомассы микроводорослей наблюдается заметное повышение как общего объема, так и энергетической ценности биогаза¹. В данном случае микроводоросли являются источником легкоусвояемых углеродных соединений (липидов и углеводов), в связи с чем биомасса может рассматриваться в качестве биологически активной добавки для стимулирования активности метаногенных бактерий. Однако остается актуальным

вопрос установления наиболее эффективного соотношения композиционной смеси при использовании добавок из биомассы микроводорослей.

Применение микроводорослей в контексте альтернативной энергетики требует точного подбора оптимального соотношения компонентов смеси с учетом их влажности и содержания органического углерода для максимизации выхода и качества продукта.

В исследовании М. Dębowski и др. (2020) было установлено, что использование добавки из биомассы микроводорослей в композиционной смеси для сбраживания приводит к систематическому увеличению выхода биогаза и содержанию метана в нем [15]. При этом отмечено, что при увеличении доли добавки из микроводорослей в композиционной смеси выше 40% эффективность не повышается.

Эффективность использования добавки из биомассы микроводорослей для увеличения биогазового потенциала при анаэробном сбраживании обсуждалась во многих научных исследованиях [16–19], однако количество научных исследований, направленных на изучение свойств биомассы микроводорослей после поглощения CO_2 в контексте анаэробного сбраживания, оказалось значительно ниже [20, 21]. При этом биомасса, полученная при культивировании с CO_2 , содержит высокий процент белка (до 46% сухого веса), что делает ее ценной добавкой для анаэробного сбраживания [21].

Цель работы — изучение процесса анаэробного сбраживания биомассы микроводорослей, культивирование которой проходило в условиях повышенного содержания CO_2 , органических (пищевых) отходов и инокулянта.

Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи по определению оптимальных соотношений компонентов композиционной смеси (по органическому углероду), обеспечивающих: 1) максимальное количество метана в биогазе; 2) максимальное количество биогаза; 3) получение продукта с наибольшей энергетической ценностью.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент проводили на базе центра коллективного пользования «Аналитический центр нанобиотехнологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого» в 2025 г.

В качестве компонентов композиционных смесей для анаэробного сбраживания были использованы: 1) биомасса микроводорослей *Chlorella kessleri*; 2) пищевые отходы; 3) инокулянт.

Культивирование биомассы микроводорослей *Chlorella kessleri* проходило в условиях повышенного содержания CO_2 . Методика культивирования

¹ Политаева Н.А., Масликов В.И., Чусов А.Н. и др. Способ увеличения биогазового потенциала органосодержащих отходов 2826145 С1, C02F 11/04, C02F 3/32, C12N 1/12. 2024.

и одновременного поглощения углекислого газа микроводорослей описана в ранее опубликованных работах авторского коллектива² [22]. Перед непосредственным использованием микроводорослей в процессе анаэробного сбраживания полученная биомасса была отцентрифугирована на 12-литровой центрифуге с охлаждением Thermo Scientific Sorvall RC12BP Plus (США). Суспензия микроводорослей центрифугировалась в течение 10 минут при 5000 об/мин. Для дальнейшего обезвоживания биомассы микроводорослей использовали лиофильную сушку AK5-50N (Proflab, Россия) при давлении в камере 0,5 бар. Обезвоживание осуществлялось в течение 48 часов.

В качестве катализатора процесса анаэробного сбраживания использовали инокулянт — свежий коровий навоз, отбираемый на молочно-товарной ферме, содержание животных на которой соответствует санитарно-ветеринарным требованиям³.

Состав смеси пищевых отходов принимался по данным исследований НПО «Ордена трудового красного знамени Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова» (Россия) (табл. 1).

Расчет фактического веса закладываемых в биореактор компонентов был проведен по содержанию органического углерода и влажности каждого компонента отдельно. Влажность (W, %) определяли с помощью анализатора влажности MB35, OHAUS Europe (Швейцария) при температуре процесса 105 °С. Сушку проводили автоматически до постоянного значения массы образца.

Массовую долю золы в компоненте определяли путем взвешивания компонента до и после прокаливания в муфельной печи BR-12N-1 (Brother Furnace, Китай). Прокаливание проводили при температуре 550 °С в течение 120 мин. Массовую долю золы (D, %) в компонентах композиционных смесей определяли по формуле 1:

$$D = \frac{x_1 \times 100}{x}, \quad (1)$$

где: x — начальная масса компонента перед прокаливанием, г; x_1 — масса компонента после прокаливания, г.

Результаты определения влажности и зольности для каждого из компонентов загружаемой смеси представлены в таблице 2.

Общее содержание органического углерода в композиционной смеси на один биореактор объемом 1 л было определено в диапазоне от 8,0 г / орг. угл. до 8,6 г / орг. угл. Всего были исследованы 4 соотношения компонентов композиционной смеси. Каждое соотношение компонентов композиционной смеси исследовали в двух параллельных повторностях ($n = 2$). Всего задействованы 8 биореакторов.

Таблица 1. Состав смеси пищевых отходов для анаэробного сбраживания на 1 кг

Table 1. Composition of the food waste mixture for anaerobic digestion per 1 kg

Состав	Состав смеси пищевых отходов для анаэробного сбраживания на 1 кг	
	%	г
Картофель и его очистки	40,0	400,0
Другие овощи	30,0	300,0
Фрукты	20,0	200,0
Мясо и мясные изделия	3,0	30,0
Кости животного происхождения	3,0	30,0
Рыба, рыбные кости	1,5	15,0
Хлеб и хлебобулочные изделия	0,5	5,0
Молочные продукты	1,0	10,0
Яичная скорлупа	0,5	5,0
Прочие отходы, упаковка	0,5	5,0

Таблица 2. Параметры для расчета веса закладываемых в биореактор компонентов

Table 2. Parameters for calculating the weight of components loaded into the bioreactor

Параметр	Микроводоросли	Пищевые отходы	Инокулянт
x , г	1,009	3,385	0,973
x_1 , г	0,065	0,227	0,081
W, %	5,050	82,67	78,11
D, %	6,44	6,71	8,32

По формуле (2) был рассчитан фактический вес (y , г) закладываемых в биореактор компонентов:

$$Z = \frac{x_2}{(100-D) \times (100-W)} \times 10000, \quad (2)$$

где x_2 — требуемое содержание органического углерода в компоненте, г.

Закладку компонентов композиционной смеси осуществляли во влажном состоянии согласно результатам, определенным в таблице 2 и рассчитанным по формуле (2) (табл. 3).

Таблица 3. Содержание композиционных смесей в биореакторах

Table 3. Contents of the composite mixtures in bioreactors

№ биореактора	Микроводоросли		Пищевые отходы		Инокулянт		Общее содержание орг. угл., г
	z , г	x_2 г / орг. угл.	z , г	x_2 г / орг. угл.	z , г	x_2 г / орг. угл.	
1	0,90	0,80	19,79	3,20	19,93	4,00	8,00
2	0,90	0,80	19,79	3,20	19,93	4,00	8,00
3	1,13	1,00	19,79	3,20	19,93	4,00	8,20
4	1,13	1,00	19,79	3,20	19,93	4,00	8,20
5	1,35	1,20	19,79	3,20	19,93	4,00	8,40
6	1,35	1,20	19,79	3,20	19,93	4,00	8,40
7	1,58	1,40	19,79	3,20	19,93	4,00	8,60
8	1,58	1,40	19,79	3,20	19,93	4,00	8,60

² Политаева Н.А., Жажков В.В., Зибарев Н.В. и др. Способ утилизации углекислого газа с применением микроводоросли рода *Chlorella*, 2797838 С1, В01D 53/62, В01D 53/84. 2022.

³ Ветеринарно-санитарные правила подготовки к использованию в качестве органических удобрений навоза, помета и стоков при инфекционных и инвазионных болезнях животных и птицы (утв. Минсельхозпродом РФ 04.08.1997 № 13-7-2/1027).

Для установления наиболее эффективного процентного соотношения добавляемой биомассы микроводорослей к сбраживаемым пищевым отходам и инокулянту масса последних в каждом из биореакторов была оставлена неизменной, тогда как загружаемая масса микроводорослей варьировалась в диапазоне от 0,90 до 1,58 г.

После загрузки композиционной смеси в каждый биореактор были добавлены 600 мл отфильтрованной воды для равномерного распределения субстрата и поддержания анаэробных условий в начале эксперимента.

Исследования проводили с использованием экспериментальной установки (УНУ) «Лабораторный комплекс для исследования процессов получения и преобразования биогазов из органосодержащих отходов». Более подробно схема УНУ и методика работы на ней описаны в предыдущих работах авторского коллектива [23].

Для проведения эксперимента использовали оборудование Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Россия), а также методики организации проведения экспериментов с органическими отходами и анализа полученных результатов [24].

Экспериментальное изучение процесса анаэробного сбраживания биомассы микроводорослей после их культивирования с дополнительной подачей углекислого газа проводили в мезофильных условиях (при $T = +35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Длительность эксперимента составила 70 суток.

Измерение компонентного состава биогаза непосредственно в биореакторах производили с использованием портативного газоанализатора GA2000 (Geotechnical Instruments Ltd., Великобритания).

Все измерения проводили в трехкратных повторностях. Статистический анализ проводили линейной смешанной моделью для повторных измерений ($\alpha = 0,05$). Математическую обработку данных, полученных в ходе исследований, проводили с помощью программы Microsoft Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Динамика образования метана в накопленном биогазе в каждом из биореакторов представлена на рисунке 1.

Согласно полученным результатам, максимальное содержание метана (67,8%) было зафиксировано в биореакторе № 6 со следующей композиционной загрузкой (по органическому углероду): 1,2 г микроводорослей + 3,2 г пищевых отходов + 4,0 г инокулянта.

Высокое процентное содержание метана в биогазе наблюдалось в биореакторах № 4, 5 и 7 (67,3%, 63%, 65,1% соответственно).

Наименее эффективной смесью для получения биогаза с высоким содержанием метана оказалась композиционная загрузка в первом биореакторе: 0,8 г микроводорослей + 3,2 г пищевых отходов + 4,0 г инокулянта. Полученные значения свидетельствуют о прямой зависимости энергетической емкости биогаза, определяемой общим содержанием метана в нем, от количества биомассы микроводорослей в композиционной смеси.

Можно заметить, что наибольшее количество метана по всем биореакторам было зафиксировано на 6–7-ю неделю от начала компостирования, соответствует максимуму метаногенной фазы в классической схеме анаэробного разложения.

Результаты замеров биогазового потенциала каждого биореактора, полученные с программного обеспечения Rigamo, представлены в таблице 4.

Таким образом, динамика накопления биогаза в каждом биореакторе представлена на рисунке 2.

На представленном графике видно, что наибольшее количество биогаза (1,018 л) образовалось сразу в двух биореакторах — № 1 и № 4, однако, учитывая высокую энергетическую емкость биогаза в реакторе № 4, наиболее эффективной

Рис. 1. Динамика образования метана в накопленном биогазе в каждом биореакторе

Fig. 1. Dynamics of methane formation in the accumulated biogas in each bioreactor

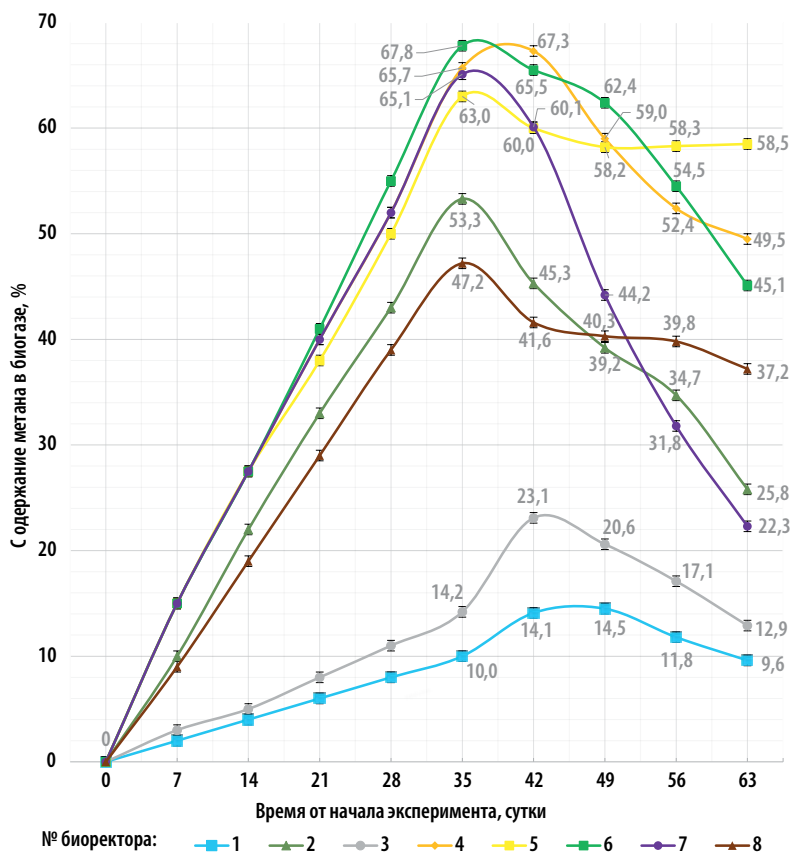
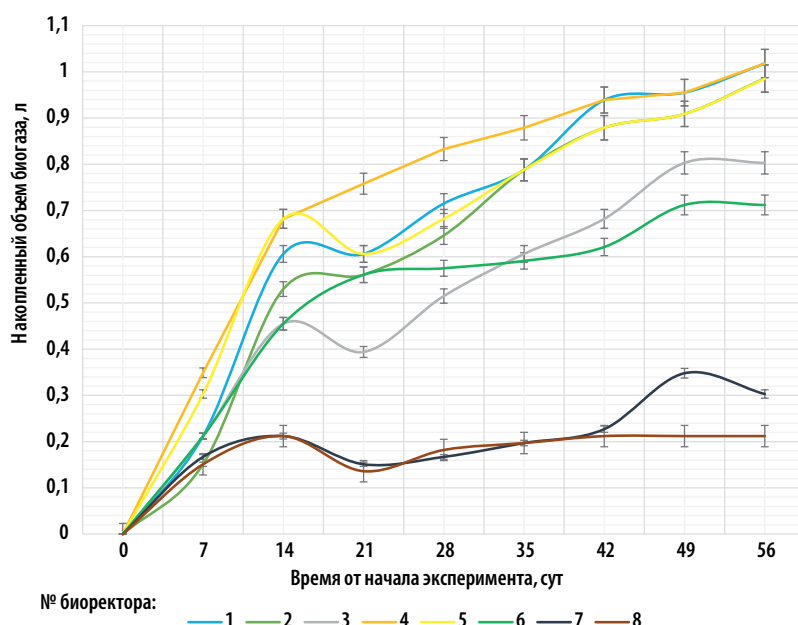


Таблица 4. Количество образовавшегося биогаза в биореакторах

Table 4. Amount of biogas produced in the bioreactors

№ биореактора	Количество выделившегося биогаза, л							
	время от начала эксперимента, сут.							
	7	14	21	28	35	42	49	56
1	0,212	0,606	0,606	0,715	0,788	0,939	0,955	1,018
2	0,151	0,53	0,561	0,646	0,788	0,879	0,909	0,986
3	0,212	0,455	0,394	0,515	0,606	0,682	0,803	0,803
4	0,349	0,682	0,758	0,833	0,879	0,939	0,955	1,018
5	0,303	0,682	0,606	0,682	0,788	0,879	0,909	0,985
6	0,212	0,455	0,561	0,575	0,591	0,621	0,712	0,712
7	0,167	0,212	0,151	0,167	0,197	0,227	0,348	0,303
8	0,151	0,212	0,136	0,182	0,197	0,212	0,212	0,212

Рис. 2. Динамика накопления биогаза в каждом биореакторе
Fig. 2. Dynamics of biogas accumulation in each bioreactor

композиционной смесью будет являться следующая смесь: 1,0 г микроводорослей + 3,2 г пищевых отходов + 4,0 г инокулянта (по органическому углероду). Высокий потенциал образования биогаза был зафиксирован в биореакторах № 2 (0,986 л), № 5 (0,985 л) и № 6 (0,712 л).

Полученные результаты подтверждают гипотезу о корреляции между долями микроводорослей *Chlorella kessleri* в композиционной смеси для сбраживания и содержанием метана в биогазе при анаэробном сбраживании. Высокое содержание метана (до 67,8%) в биореакторе № 6, в композиционную смесь которого были добавлены 1,20 г / орг. угл. биомассы *Chlorella kessleri*, подтверждает данные ряда исследований о стимулировании метаногенных микробных сообществ и улучшении гидролиза субстрата при использовании добавки из микроводорослей [19, 25].

При этом минимальное содержание метана (14,5%) в биореакторе № 1 (с добавлением 0,80 г / орг. угл. биомассы *Chlorella kessleri*) может указывать на дисбаланс C/N-, что приводит к снижению метаногенной активности бактерий и уменьшению доли метана в выделяемом биогазе [16, 26]. Стабильно высокое содержание метана (63–67%) в биореакторах № 4, 5 и 7 подтверждает роль биомассы микроводорослей как «энергетического активатора» процесса анаэробного сбраживания органосодержащих отходов [18, 27].

Интересным является различие между объемом и качеством биогаза, что доказывает тезис о том, что максимальный объем биогаза не всегда совпадает с максимальным содержанием метана. Так, максимальный объем (1,018 л) был зафиксирован в биореакторах № 1 и 4, однако только в биореакторе № 4 обеспечивалось оптимальное

соотношение объема биогаза и высокой доли метана в нем. Таким образом, для комплексного улучшения процесса анаэробного сбраживания органосодержащих отходов необходимо учитывать не только объем биогаза, но и его энергетическую емкость, определяемую количеством метана в нем [28].

Наблюдаемый пик метанообразования на 6–7-й неделе полностью соответствует классической динамике анаэробного разложения, включающей последовательные стадии гидролиза, ацетогенеза и метаногенеза. Согласно данным из литературных источников, на этой стадии численность и активность метаногенных архей достигают максимума, что и подтверждается результатами данного эксперимента [29, 30].

Таким образом, использование микроводорослей, культивирование которых проходило в условиях повышенного содержания CO₂, позволяет одновременно утилизировать углекислый газ и получать высокоэнергетический биогаз, что делает технологию перспективной в рамках реализации экономики замкнутого цикла [31–33]. Такой подход может рассматриваться как перспективное направление развития технологий устойчивого обращения с органическими отходами и биотехнологической утилизации CO₂.

Выводы/Conclusions

Исследование показало, что совместное анаэробное сбраживание биомассы *Chlorella kessleri*, культивирование которой проходило в условиях повышенного содержания CO₂, с пищевыми отходами и инокулянтам обладает значительным

потенциалом для повышения энергетической ценности получаемого биогаза. Установлено, что внесение биомассы микроводорослей в композиционную смесь для анаэробного сбраживания обеспечивает оптимальный углеродно-азотный баланс и активирует метаногенные бактерии, что отражается в увеличении доли метана до 67,8% и стабилизации процесса газообразования. Подобные показатели соответствуют уровню промышленно применимых технологий биогазовой энергетики.

Установлено, что композиционная смесь с содержанием 12% микроводорослей, 39% органосодержащих отходов и 49% инокулянта является наиболее эффективной как с точки зрения общего выхода биогаза, так и его энергетической емкости (по метану). Подобная пропорция обеспечивает устойчивое функционирование метаногенной фазы и повышает удельный выход метана без необходимости увеличения времени выдержки или применения энергоемких методов предобработки.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (соглашение от 12.04.2024 № 24-17-20004). <https://rscf.ru/project/24-17-20004/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Jacobson T.A., Kler J.S., Hernke M.T., Braun R.K., Meyer K.C., Funk W.E. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nature Sustainability*. 2019; 2(8): 691–701. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0323-1>
- Azuma K., Kagi N., Yanagi U., Osawa H. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*. 2018; 121(1): 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>
- Шинкевич П.С., Политаева Н.А. Применение микроводорослей в CCU-технологиях. *Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология. Международная научная конференция. Сборник докладов*. Белгород: Белгородский государственный технологический университет. 2023; 329–334. <https://www.elibrary.ru/dmxjsh>
- Daneshvar E., Wicker R.J., Show P.-L., Bhatnagar A. Biologically-mediated carbon capture and utilization by microalgae towards sustainable CO₂ biofixation and biomass valorization — A review. *Chemical Engineering Journal*. 2021; 427: 130884. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130884>
- Li S., Chang H., Zhang S., Ho S.-H. Production of sustainable biofuels from microalgae with CO₂ bio-sequestration and life cycle assessment. *Environmental Research*. 2023; 227: 115730. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115730>
- Onyeaka H., Miri T., Obileke K., Hart A., Anumudu C., Al-Sharif Z.T. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science & Technology*. 2021; 1: 100007. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2021.100007>
- Шинкевич П.С., Вельможина К.А., Политаева Н.А., Чусов А.Н. Роль микроводорослей в современных технологиях фиксации и утилизации углекислого газа. *Альтернативная энергетика и экология*. 2024; (10): 154–166. <https://www.elibrary.ru/cqzywb>
- Зибарев Н.В., Политаева Н.А., Молодкина Л.М. Получение биодизеля из микроводорослей путем переэтерификации биомассы. *Бутлеровские сообщения*. 2023; 73(1): 101–108. <https://www.elibrary.ru/apbich>

Полученные результаты подтверждают высокую научно-техническую перспективность интеграции биомассы микроводорослей в схемы анаэробной переработки органосодержащих отходов. Данная стратегия является как технологически оправданной, так и экологически значимой, поскольку одновременно решает задачи утилизации CO₂ путем биологического связывания углерода микроводорослями, повышения эффективности биогазовых установок, а также снижения углеродного следа и выбросов парниковых газов.

Таким образом, предложенная схема может рассматриваться как один из наиболее перспективных элементов биотехнологий для развития низкоуглеродной энергетики и формирования циркулярной экономики, обеспечивая интеграцию процессов улавливания CO₂, биоконверсии органических субстратов и получения возобновляемого энергоносителя промышленного качества.

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

FUNDING

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (agreement dated 04/12/2024 No. 24-17-20004). <https://rscf.ru/project/24-17-20004/>

REFERENCES

- Jacobson T.A., Kler J.S., Hernke M.T., Braun R.K., Meyer K.C., Funk W.E. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nature Sustainability*. 2019; 2(8): 691–701. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0323-1>
- Azuma K., Kagi N., Yanagi U., Osawa H. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*. 2018; 121(1): 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>
- Shinkevich P.S., Politaeva N.A. Application of microalgae in CCU technologies. *Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology. International scientific conference. Collection of reports*. Belgorod: Belgorod State Technological University. 2023; 329–334 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/dmxjsh>
- Daneshvar E., Wicker R.J., Show P.-L., Bhatnagar A. Biologically-mediated carbon capture and utilization by microalgae towards sustainable CO₂ biofixation and biomass valorization — A review. *Chemical Engineering Journal*. 2021; 427: 130884. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130884>
- Li S., Chang H., Zhang S., Ho S.-H. Production of sustainable biofuels from microalgae with CO₂ bio-sequestration and life cycle assessment. *Environmental Research*. 2023; 227: 115730. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115730>
- Onyeaka H., Miri T., Obileke K., Hart A., Anumudu C., Al-Sharif Z.T. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science & Technology*. 2021; 1: 100007. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2021.100007>
- Shinkevich P.S., Velmzhina K.A., Politaeva N.A., Chusov A.N. Development of a technological scheme for carbon dioxide utilization and biohydrogen production using microalgae. *International scientific journal for Alternative energy and ecology*. 2024; (10): 154–166 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/cqzywb>
- Zibarev N.V., Politaeva N.A., Molodkina L.M. Production of biodiesel from microalgae by transesterification of biomass. *Butlerov Communications*. 2023; 73(1): 101–108 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/apbich>

9. Velmozhina K. *et al.* Production of Biohydrogen from Microalgae Biomass after Wastewater Treatment and Air Purification from CO₂. *Processes*. 2023; 11(10): 2978. <https://doi.org/10.3390/pr11102978>
10. Kougias P.G., Angelidaki I. Biogas and its opportunities — A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2018; 12(3): 14. <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1037-8>
11. Weiland P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010; 85(4): 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>
12. Ngabala F.J., Emmanuel J.K. Potential substrates for biogas production through anaerobic digestion—an alternative energy source. *Heliyon*. 2024; 10(23): e40632. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40632>
13. Atelge M.R. *et al.* Biogas Production from Organic Waste: Recent Progress and Perspectives. *Waste and Biomass Valorization*. 2020; 11(3): 1019–1040. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00546-0>
14. González R., Peña D.C., Gómez X. Anaerobic Co-Digestion of Wastes: Reviewing Current Status and Approaches for Enhancing Biogas Production. *Applied Sciences*. 2022; 12(17): 8884. <https://doi.org/10.3390/app12178884>
15. Dębowski M. *et al.* The Effects of Microalgae Biomass Co-Substrate on Biogas Production from the Common Agricultural Biogas Plants Feedstock. *Energies*. 2020; 13(9): 2186. <https://doi.org/10.3390/en13092186>
16. Alharbi R.M. Anaerobic co-digestion of cow manure and microalgae to increase biogas production: A sustainable bioenergy source. *Journal of King Saud University — Science*. 2024; 39(9): 103380. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103380>
17. Kusmayadi A. *et al.* Integration of microalgae cultivation and anaerobic co-digestion with dairy wastewater to enhance bioenergy and biochemicals production. *Bioresource Technology*. 2023; 376: 128858. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128858>
18. Torres A., Padrino S., Brito A., Díaz L. Biogas production from anaerobic digestion of solid microalgae residues generated on different processes of microalgae-to-biofuel production. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023; 13(6): 4659–4672. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01898-9>
19. Vargas-Estrada L. *et al.* A Review on Current Trends in Biogas Production from Microalgae Biomass and Microalgae Waste by Anaerobic Digestion and Co-digestion. *BioEnergy Research*. 2022; 15(1): 77–92. <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10276-2>
20. Vadiveloo A., Matos A.P., Chaudry S., Bahri P.A., Moheimani N.R. Effect of CO₂ addition on treating anaerobically digested abattoir effluent (ADAE) using *Chlorella* sp. (Trebouxiphyceae). *Journal of CO₂ Utilization*. 2020; 38: 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.02.006>
21. Sánchez-Quintero Á. *et al.* Effects of CO₂ and liquid digestate concentrations on the growth performance and biomass composition of *Tetrademus obliquus* and *Chlorella vulgaris* microalgal strains. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2024; 12: 1459756. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1459756>
22. Politaeva N., Ilin I., Velmozhina K., Shinkevich P. Carbon Dioxide Utilization Using *Chlorella* Microalgae. *Environments*. 2023; 10(7): 109. <https://doi.org/10.3390/environments10070109>
23. Вельможина К.А. Совершенствование технологии анаэробного сбраживания органических отходов в энергетических целях. Выпускная квалификационная работа магистра. Санкт-Петербург 2023. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/3/2023/vr/vr23-2591>
24. Chusov A., Maslikov V., Badenko V., Zhazhkov V., Molodtsov D., Pavlushkina Y. Biogas Potential Assessment of the Composite Mixture from Duckweed Biomass. *Sustainability*. 2022; 14(1): 351. <https://doi.org/10.3390/su14010351>
25. Magdalena J.A., Ballesteros M., González-Fernandez C. Efficient Anaerobic Digestion of Microalgae Biomass: Proteins as a Key Macromolecule. *Molecules*. 2018; 23(5): 1098. <https://doi.org/10.3390/molecules23051098>
26. Herrmann C., Kalita N., Wall D., Xia A., Murphy J.D. Optimised biogas production from microalgae through co-digestion with carbon-rich co-substrates. *Bioresource Technology*. 2016; 214: 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.119>
27. Mahdy A., Fotidis I.A., Mancini E., Ballesteros M., González-Fernández C., Angelidaki I. Ammonia tolerant inocula provide a good base for anaerobic digestion of microalgae in third generation biogas process. *Bioresource Technology*. 2017; 225: 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.086>
28. Wu N. *et al.* Techno-Economic Analysis of Biogas Production from Microalgae through Anaerobic Digestion. Banu J.R. (ed.). Anaerobic Digestion. *IntechOpen*. 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86090>
9. Velmozhina K. *et al.* Production of Biohydrogen from Microalgae Biomass after Wastewater Treatment and Air Purification from CO₂. *Processes*. 2023; 11(10): 2978. <https://doi.org/10.3390/pr11102978>
10. Kougias P.G., Angelidaki I. Biogas and its opportunities — A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2018; 12(3): 14. <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1037-8>
11. Weiland P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010; 85(4): 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>
12. Ngabala F.J., Emmanuel J.K. Potential substrates for biogas production through anaerobic digestion—an alternative energy source. *Heliyon*. 2024; 10(23): e40632. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40632>
13. Atelge M.R. *et al.* Biogas Production from Organic Waste: Recent Progress and Perspectives. *Waste and Biomass Valorization*. 2020; 11(3): 1019–1040. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00546-0>
14. González R., Peña D.C., Gómez X. Anaerobic Co-Digestion of Wastes: Reviewing Current Status and Approaches for Enhancing Biogas Production. *Applied Sciences*. 2022; 12(17): 8884. <https://doi.org/10.3390/app12178884>
15. Dębowski M. *et al.* The Effects of Microalgae Biomass Co-Substrate on Biogas Production from the Common Agricultural Biogas Plants Feedstock. *Energies*. 2020; 13(9): 2186. <https://doi.org/10.3390/en13092186>
16. Alharbi R.M. Anaerobic co-digestion of cow manure and microalgae to increase biogas production: A sustainable bioenergy source. *Journal of King Saud University — Science*. 2024; 39(9): 103380. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103380>
17. Kusmayadi A. *et al.* Integration of microalgae cultivation and anaerobic co-digestion with dairy wastewater to enhance bioenergy and biochemicals production. *Bioresource Technology*. 2023; 376: 128858. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128858>
18. Torres A., Padrino S., Brito A., Díaz L. Biogas production from anaerobic digestion of solid microalgae residues generated on different processes of microalgae-to-biofuel production. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023; 13(6): 4659–4672. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01898-9>
19. Vargas-Estrada L. *et al.* A Review on Current Trends in Biogas Production from Microalgae Biomass and Microalgae Waste by Anaerobic Digestion and Co-digestion. *BioEnergy Research*. 2022; 15(1): 77–92. <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10276-2>
20. Vadiveloo A., Matos A.P., Chaudry S., Bahri P.A., Moheimani N.R. Effect of CO₂ addition on treating anaerobically digested abattoir effluent (ADAE) using *Chlorella* sp. (Trebouxiphyceae). *Journal of CO₂ Utilization*. 2020; 38: 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.02.006>
21. Sánchez-Quintero Á. *et al.* Effects of CO₂ and liquid digestate concentrations on the growth performance and biomass composition of *Tetrademus obliquus* and *Chlorella vulgaris* microalgal strains. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2024; 12: 1459756. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1459756>
22. Politaeva N., Ilin I., Velmozhina K., Shinkevich P. Carbon Dioxide Utilization Using *Chlorella* Microalgae. *Environments*. 2023; 10(7): 109. <https://doi.org/10.3390/environments10070109>
23. Velmozhina K.A. Improving the technology of anaerobic digestion of organic waste for energy purposes. Master's thesis. St. Petersburg, 2023 (in Russian). <https://doi.org/10.18720/SPBPU/3/2023/vr/vr23-2591>
24. Chusov A., Maslikov V., Badenko V., Zhazhkov V., Molodtsov D., Pavlushkina Y. Biogas Potential Assessment of the Composite Mixture from Duckweed Biomass. *Sustainability*. 2022; 14(1): 351. <https://doi.org/10.3390/su14010351>
25. Magdalena J.A., Ballesteros M., González-Fernandez C. Efficient Anaerobic Digestion of Microalgae Biomass: Proteins as a Key Macromolecule. *Molecules*. 2018; 23(5): 1098. <https://doi.org/10.3390/molecules23051098>
26. Herrmann C., Kalita N., Wall D., Xia A., Murphy J.D. Optimised biogas production from microalgae through co-digestion with carbon-rich co-substrates. *Bioresource Technology*. 2016; 214: 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.119>
27. Mahdy A., Fotidis I.A., Mancini E., Ballesteros M., González-Fernández C., Angelidaki I. Ammonia tolerant inocula provide a good base for anaerobic digestion of microalgae in third generation biogas process. *Bioresource Technology*. 2017; 225: 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.086>
28. Wu N. *et al.* Techno-Economic Analysis of Biogas Production from Microalgae through Anaerobic Digestion. Banu J.R. (ed.). Anaerobic Digestion. *IntechOpen*. 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86090>

29. Nolla-Ardèvol V., Strous M., Tegetmeyer H. Anaerobic digestion of the microalga *Spirulina* at extreme alkaline conditions: biogas production, metagenome, and metatranscriptome. *Frontiers in Microbiology*. 2015; 6: 597. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00597>
30. González-Fernández C., Sialve B., Molinuevo-Salces B. Anaerobic digestion of microalgal biomass: Challenges, opportunities and research needs. *Bioresource Technology*. 2015; 198: 896–906. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.095>
31. Kannah R.Y., Kavitha S., Karthikeyan O.P., Rene E.R., Kumar G., Banu J.R. A review on anaerobic digestion of energy and cost effective microalgae pretreatment for biogas production. *Bioresource Technology*. 2021; 332: 125055. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125055>
32. Xiao C. *et al.* Life cycle and economic assessments of biogas production from microalgal biomass with hydrothermal pretreatment via anaerobic digestion. *Renewable Energy*. 2020; 151: 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.145>
33. Nagarajan D., Lee D.-J., Chang J.-S. Integration of anaerobic digestion and microalgal cultivation for digestate bioremediation and biogas upgrading. *Bioresource Technology*. 2019; 290: 121804. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121804>

ОБ АВТОРАХ

Ксения Алексеевна Вельможина

инженер
anizhomlev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9623-057X>

Полина Сергеевна Шинкевич

инженер
ps.shinkevich@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-3627-281X>

Наталья Анатольевна Политаева

доктор технических наук, профессор
politaevana1971@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>

Александр Николаевич Чусов

кандидат технических наук, доцент
chusov17@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1388-8649>

Владимир Иванович Масликов

доктор технических наук, профессор
maslikov_vi@spbstu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-7924>

Анна Михайловна Опарина

ассистент
annaoparina93@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2043-1866>

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

29. Nolla-Ardèvol V., Strous M., Tegetmeyer H. Anaerobic digestion of the microalga *Spirulina* at extreme alkaline conditions: biogas production, metagenome, and metatranscriptome. *Frontiers in Microbiology*. 2015; 6: 597. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00597>

30. González-Fernández C., Sialve B., Molinuevo-Salces B. Anaerobic digestion of microalgal biomass: Challenges, opportunities and research needs. *Bioresource Technology*. 2015; 198: 896–906. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.095>

31. Kannah R.Y., Kavitha S., Karthikeyan O.P., Rene E.R., Kumar G., Banu J.R. A review on anaerobic digestion of energy and cost effective microalgae pretreatment for biogas production. *Bioresource Technology*. 2021; 332: 125055. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125055>

32. Xiao C. *et al.* Life cycle and economic assessments of biogas production from microalgal biomass with hydrothermal pretreatment via anaerobic digestion. *Renewable Energy*. 2020; 151: 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.145>

33. Nagarajan D., Lee D.-J., Chang J.-S. Integration of anaerobic digestion and microalgal cultivation for digestate bioremediation and biogas upgrading. *Bioresource Technology*. 2019; 290: 121804. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121804>

ABOUT THE AUTHORS

Ksenia Alekseevna Velmozhina

Engineer
anizhomlev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9623-057X>

Polina Sergeevna Shinkevich

Engineer
ps.shinkevich@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-3627-281X>

Natalia Anatolyevna Politaeva

Doctor of Technical Sciences, Professor
politaevana1971@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>

Alexander Nikolaevich Chusov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
chusov17@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1388-8649>

Vladimir Ivanovich Maslikov

Doctor of Technical Sciences, Professor
maslikov_vi@spbstu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-7924>

Anna Mikhailovna Oparina

Assistant
annaoparina93@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2043-1866>

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(SPbPU),
29B Polytechneskaya Str., St. Petersburg, 195251,
Russia



ПАРОМОФОР 70

Лучший выбор для профилактики
и лечения криптоспориديоза у телят

ПАРОМОФОР 70 – эффективное средство против криптоспориديоза у телят: способствует повышению сохранности и увеличению привесов

Доказанное действие на **Cryptosporidium spp.**, а также **Escherichia coli**, **Salmonella spp.**

Экономически выгодное лечение: **стоимость курса до 35% ниже**, чем у конкурентов

Не влияет на вкус молока и легко растворяется, что упрощает его использование, экономит время и трудозатраты

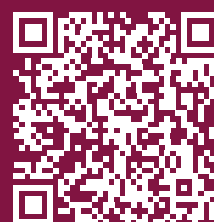
Удобная дозировка для индивидуального и группового применения

Высокая эффективность подтвержденная опытами

Высокие стандарты производства по технологии глобальных фармацевтических производителей



Узнать больше
о продукте >>



Реклама

+7 (495) 777-67-67

www.vicgroup.ru

Ю.Г. Иванов¹С.А. Андреев¹Д.А. Понизовкин² ✉¹Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия²Московский государственный колледж электромеханики и информационных технологий, Москва, Россия

✉ ponizovkind@yandex.ru

Поступила в редакцию: 17.07.2025

Одобрена после рецензирования: 13.11.2025

Принята к публикации: 28.11.2025

© Иванов Ю.Г., Андреев С.А.,
Понизовкин Д.А.

Исследование влияния влажной очистки кожного покрова коров автоматическим щеточным устройством на тепловой стресс в летний период времени

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты исследования влияния сухой и влажной очистки кожного покрова коров с использованием автоматических щеточных устройств на уровень теплового стресса в летний период в условиях молочной фермы. Эксперимент проводили на 30 коровах в июне 2024 года в Совхозе им. Ленина Московской области. Животные были распределены на три группы по 10 коров. Исследование проводили при температуре воздуха в коровнике от 22 до 26 °С, повышающейся в течение дня, и относительной влажности воздуха 55%. Одна из групп является контрольной, вторая имеет доступ к классической автоматической щетке (сухая очистка), третья группа имеет доступ к автоматической щетке с устройством смачивания ворса щетки (влажная очистка). Результаты показали, что использование сухой и влажной очистки кожного покрова позволяет снизить температуру кожного покрова при 26 °С на 1,5 °С и 4,6 °С, соответственно, в сравнении с группой животных, где доступа у животных к автоматической щетке не было. С увеличением температуры окружающей среды с 22 до 26 °С при относительной влажности воздуха 55% частота использования автоматических щеток животными увеличилась. При этом с ростом температуры окружающего воздуха частота подходов животных к автоматическим щеткам с влажной очисткой возросла на 13%. С увеличением температуры окружающего воздуха возрастает и время использования автоматических щеток коровами. При температуре 26 °С среднее время использования выше на 24% у щеток, осуществляющих влажную очистку. Установлен эффект от использования увлажняющих автоматических щеток для снижения тепловых стрессов у коров, обеспечивающих возможность, в дополнение к системам местной принудительной вентиляции, индивидуального охлаждения каждого животного по его тепловым ощущениям.

Ключевые слова: тепловой стресс, коровник, щетки для коров, автоматические щетки, очистка кожного покрова, влажная очистка, микроклимат

Для цитирования: Иванов Ю.Г., Андреев С.А., Понизовкин Д.А. Исследование влияния влажной очистки кожного покрова коров автоматическим щеточным устройством на тепловой стресс в летний период времени. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 180–187. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-180-187>

Yuri G. Ivanov¹Sergey A. Andreev¹Dmitry A. Ponizovkin² ✉¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia²Moscow State College of Electromechanics and Information Technologies, Moscow, Russia

✉ ponizovkind@yandex.ru

Received by the editorial office: 17.07.2025

Accepted in revised: 13.11.2025

Accepted for publication: 28.11.2025

© Ivanov Yu.G., Andreev S.A.,
Ponizovkin D.A.

Research of the effect of wet cleaning of cows' skin with an automatic brushing device on heat stress in the summer

ABSTRACT

The article presents the results of a study of the effect of dry and wet cleaning of the skin of cows using automatic brushing devices on the level of thermal stress in summer in a dairy farm. The experiment was conducted on 30 cows in June 2024 at the State Farm named after him. Lenin Street, Moscow region. The animals were divided into three groups of 10 cows each. The study was conducted at an air temperature in the cowshed from 22 to 26 °C, increasing during the day, and a relative humidity of 55%. One of the groups is a control group, the second has access to a classic automatic brush (dry cleaning), the third group has access to an automatic brush with a brush pile wetting device (wet cleaning). The results showed that the use of dry and wet cleaning of the skin makes it possible to reduce the temperature of the skin at 26 °C by 1.5 °C and 4.6 °C, respectively, in comparison with the group of animals where animals did not have access to an automatic brush. As the ambient temperature increased from 22 to 26 °C at a relative humidity of 55%, the frequency of use of automatic brushes by animals increased. At the same time, as the ambient temperature increased, the frequency of animal approaches to automatic wet cleaning brushes increased by 13%. As the ambient temperature increases, the use time of automatic brushes by cows also increases. At a temperature of 26 °C, the average use time is 24% higher for wet cleaning brushes. The effect of using automatic moisturizing brushes to reduce thermal stress in cows has been established, providing the opportunity, in addition to local forced ventilation systems, to individually cool each animal according to its thermal sensations.

Key words: heat stress, cowshed, cow brushes, automatic brushes, skin cleaning, wet cleaning, microclimate

For citation: Ivanov Yu.G., Andreev S.A., Ponizovkin D.A. Research of the effect of wet cleaning of cows skin with an automatic brushing device on heat stress in the summer. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 180–187 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-180-187>

Введение/Introduction

В Стратегии ФАО в отношении изменения климата на 2022–2031 годы указывается на необходимость в неотложных мерах, направленных на преодоление воздействия изменения климата на агропродовольственные системы, в основе которых лежит концепция невосприимчивого к климатическим воздействиям сельского хозяйства. Отмечается, что в борьбе с изменением климата агропродовольственные системы, в том числе и животноводство, нуждаются в использовании передового опыта и инновационных технологических решений¹.

В животноводстве крупный рогатый скот является наиболее подверженным влиянию теплового стресса. Физиологические особенности коров и практика промышленного скотоводства показывают, что повышение температуры окружающего воздуха выше 24 °C приводит к ухудшению физиологического состояния животных и снижению молочной продуктивности коров [1, 2]. При высокой влажности воздуха интенсивность испарения влаги с кожной поверхности коров снижается и отведение излишков эндогенного тепла становится затруднительным за счет естественной терморегуляции животного. Кроме параметров микроклимата, на теплообмен влияет загрязнение кожного покрова животных, которое препятствует теплоотдаче в окружающую среду. Если часть тела коровы загрязнена, организму животного сложнее отводить тепло путем испарения пота, так как загрязнение уменьшает площадь поверхности тела, с которой оно происходит. Чем толще слой загрязнения, тем ниже интенсивность теплообмена животного с окружающей средой [3–5].

При высоких температурах воздуха и повышенной относительной влажности воздуха у коров появляются ответные физиологические реакции: увеличиваются частота дыхания, частота пульса, потоотделение, температура тела, температура кожного покрова, потребление воды, снижается двигательная активность, изменяются количество и состав потребляемого корма, происходят изменения в эндокринной системе. Установлены количественные значения увеличения частоты пульса и дыхания коров, характеризующих степень теплового стресса, испытываемого коровами в жаркое время года [6].

Распространенным способом снижения теплового стресса в летний период времени является применение местной принудительной вентиляции, представляющей собой осевые вентиляторы, направленные в зоны нахождения животных [7, 8]. Применение локального обдува в зоне нахождения животных снижает влияние тепловых стрессов за счет снижения температуры воздуха вокруг животного, нагреваемого животным, конвективным путем, а также повышает интенсивность испарения пота с кожного покрова [9].

Однако следует учесть, что эти вентиляторы не могут обеспечить одинаковую для всех коров скорость воздушного потока, которая уменьшается с увеличением расстояния между ними. При этом каждое животное будет охлаждаться по-разному и не учитывается индивидуальная реакция коровы на тепловой стресс. В связи с этим представляется важным предоставить животным дополнительную возможность индивидуально (по своим ощущениям) снижать тепловой стресс. Целесообразно, чтобы объектами управления являлись и коровник, и само животное.

Большой вклад в исследования по снижению тепловых стрессов у коров внес А. Berman. Цикл его работ с 2004 по 2019 год подтвердил, что испарительное охлаждение воздуха в коровнике является эффективным способом снятия теплового стресса у молочного скота, которое наиболее эффективно при жаркой и сухой погоде [10, 11]. Он доказал эффективность сочетания принудительной вентиляции с увлажнением поверхности животных [12].

Применение современных автоматизированных систем поддержания параметров микроклимата в коровнике, безусловно, позволяет снизить влияние теплового стресса на животных, однако этого не всегда достаточно [13–14]. Одним из перспективных направлений исследования является применение технических средств, воздействующих непосредственно на коров, помогая им бороться с тепловым стрессом. Установлено, что одним из способов повышения интенсивности теплообмена коров с окружающей средой в летний период года является применение автоматических щеточных устройств для сухой очистки кожного покрова от загрязнений [15].

Экспериментально установлено, что при возникновении теплового стресса у коров при температуре воздуха 25–35 °C, влажности 50–75%, скорости потока воздуха 0,5–2,0 м/с сухая, влажная и влажная с шампунем способы очистки кожного покрова коровы от загрязнений, проведенные вручную, приводят к снижению роста температуры поверхности тела, увеличению теплоотдачи и испарению пота, повышают теплообмен коров с окружающей средой и уменьшают влияние теплового стресса. Наиболее эффективно снижают тепловой стресс способы влажной очистки и влажной очистки с моющим средством в сравнении с сухим способом [16].

Регистрация температуры кожного покрова позволяет косвенно определять влияние теплового стресса у коров с достаточной точностью. Увеличение температуры воздуха и относительной влажности воздуха приводит к появлению теплового стресса у животных, который характеризуется ответной реакцией организма животного, проявляемой через увеличение частоты дыхания и частоты пульса коров. При этом организм

¹ FAO Strategy on Climate Change 2022–2031. FAO. Rome. 2022.

избавляется от излишков тепла путем выдыхания нагретого воздуха через легкие и увеличением температуры кожного покрова за счет повышения интенсивности циркуляции крови от внутренних органов, имеющих более высокую температуру, к периферии — кожному покрову. В условиях повышенных температур воздуха снижение температуры кожного покрова от физических воздействий свидетельствует о снижении влияния теплового стресса на организм животного [17, 18].

Анализ показывает, что в предыдущих исследованиях не рассматривались влияние способов очистки кожного покрова на снижение стресса у коров, проведенных автоматическим щеточным устройством, частота подходов коров к щеточным устройствам и продолжительность времени использования автоматических щеток коровами в условиях фермы.

Цель исследования — провести оценку эффективности применения автоматических щеток для очистки кожного покрова коров в летний период времени в условиях фермы с сухой очисткой в базовом варианте и оборудованной устройством подачи воды для влажной очистки по физиологической реакции животных на тепловой стресс.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили на молочной ферме Совхоза им. Ленина, расположенной в Ленинском городском округе Московской области, с 1 по 30 июня 2024 года.

Коровы содержатся беспривязным способом. В коровнике установлена принудительная система вентиляция с осевыми вентиляторами над зонами нахождения животных и потолочными вентиляторами. В коровнике установлено вертикальное автоматическое щеточное устройство SCHURR (Германия) мощностью 0,37 кВт с вращающимися щетками для очистки боков и спины животного. Определение эффективности применения автоматического щеточного устройства, дополнительно оборудованного устройством подачи воды для проведения влажной очистки кожного покрова коров в сравнении с очисткой кожного покрова коров без подачи воды — сухой очистки.

30 лактирующих коров голштинской породы были разделены на три группы (по 10 коров в каждой). Животные не имели видимых кожных заболеваний. Режим кормления — 2 раза в день. В первой группе животных при применении автоматической щетки проводили влажную очистку кожного покрова за счет смачивания водой ворса щетки из специального устройства для подачи воды. Во второй группе применяли стандартный режим работы автоматической щетки — сухую очистку кожного покрова. Третья группа животных является контрольной — очистка кожного покрова не проводится. К автоматическому щеточному устройству добавлено устройство для смачивания водой ворса щеток. Устройство для подачи воды

Рис. 1. Автоматическая щетка с устройством подачи воды: 1 — бак с водой; 2 — насос; 3 — шланг; 4 — распылитель

Fig. 1. Automatic brush with water supply device: 1 — water tank; 2 — pump; 3 — hose; 4 — sprayer



состоит из бака с водой, погружного насоса мощностью 45 Вт и производительностью 3000 л/ч (WP-4880), шланга и насадки для распыления воды (рис. 1).

Исследование проводили при температуре воздуха в помещении от 22 до 26 °С и относительной влажности 55%. Выбор данного температурного диапазона обусловлен изучением начальной стадии теплового стресса у коров. На начало исследования (в 9:00) температура воздуха в помещении составляла 22 °С. Относительную влажность воздуха 55% измеряли термогигрометром Testo 625 (Германия) (средство измерений (СИ) поверено). На момент завершения исследования (в 15:00) температура воздуха 26 °С, относительная влажность воздуха 55,2%.

Скорость воздуха измеряли цифровым анемометром Testo 417 (Германия), зона нахождения животных обеспечивалась естественной вентиляцией (0,5–0,6 м/с). Потолочные и наклонные вентиляторы были установлены над зонами нахождения животных и обеспечивали дополнительную вентиляцию помещения при температуре воздуха выше 25 °С до скорости 1,0 м/с. Прямые солнечные лучи не попадали в зону нахождения животных. Коровы имели свободный доступ к автоматической щетке (рис. 2).

В процессе исследования регистрировали частоту подходов коров к автоматической щетке, время ее использования, температуру кожного покрова до и после использования автоматической щетки — через 10 минут, после того как исчезнет массирующий эффект.

Температуру кожного покрова определяли бесконтактным способом с помощью медицинского инфракрасного термометра TNK-TOP01 (Scilla, Корея). Точность измерения в диапазоне анализируемых температур находилась в пределах 0,1 °С (СИ поверено).

Рис. 2. Сухая (1) и влажная (2) очистка кожного покрова коров
Fig. 2. Dry (1) and wet (2) cleaning of the skin of cows



Исследование проводили с использованием методов статистического анализа, включая линейный регрессионный анализ и дисперсионный анализ. Был проведен множественный линейный регрессионный анализ для изучения связи между изменением температуры кожи и факторами окружающей среды (температурой, относительной влажностью и скоростью воздуха). Коэффициенты регрессии оценивали методом наименьших квадратов, а значимость каждого фактора определяли с помощью t-критерия.

Для сравнения эффектов двух типов очистки (сухой и влажной) использовали однофакторный дисперсионный анализ. Этот подход позволил оценить различия средних значений температуры кожи между двумя группами и проверить гипотезу об отсутствии разницы между ними.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Получены данные, которые показывают частоту использований автоматической щетки (количество подходов коров к автоматической щетке за час) в каждой группе, среднее время использования щетки животными и температуру кожного покрова после очистки кожного покрова в зависимости от температуры воздуха, которая повышалась с 9:00 до 15:00 (табл. 1).

Исследование показало, что с увеличением температуры окружающего воздуха у животных повышается температура кожного покрова,

определяющаяся реакцией организма на превышение термонеutralной зоны коров. При этом использование сухой и влажной очистки кожного покрова позволяет снизить температуру кожного покрова при 26 °C на 1,5 °C и 4,6 °C, соответственно, в сравнении с группой животных, где доступа у животных к автоматической щетке не было (рис. 3).

С увеличением температуры окружающей среды с 22 до 26 °C при относительной влажности воздуха 55% частота использования автоматических щеток у животных увеличилась.

При этом с ростом температуры частота подходов животных к щеткам с влажной очисткой возросла на 13% (рис. 4).

Рис. 3. Изменение температуры кожного покрова в зависимости от способа очистки кожного покрова
Fig. 3. Skin temperature changes depending on the skin cleaning method

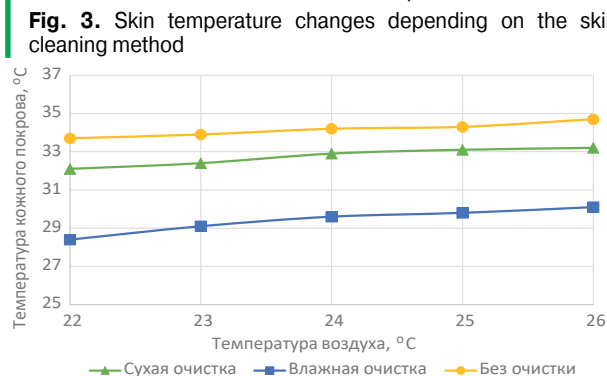


Рис. 4. Изменение частоты подходов коров к автоматическим щеткам от температуры воздуха
Fig. 4. Changing the frequency of cows approaches to automatic brushes depending on the air temperature

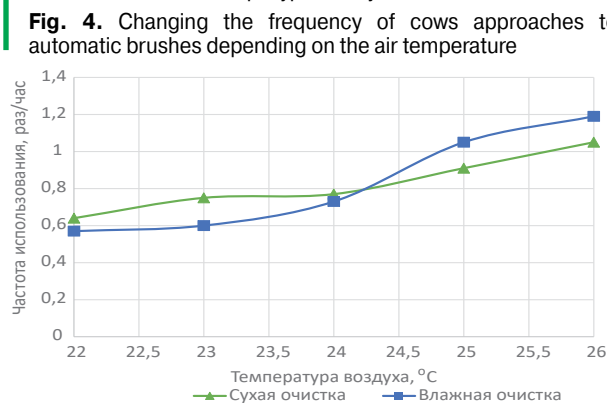


Таблица 1. Результаты исследования способов очистки кожного покрова

Table 1. The results of the study of skin cleansing methods

Фактор	Параметры изучения								
Время, ч.	9:00–11:00			11:00–13:00			13:00–15:00		
Температура воздуха, °C	22,0			24,0			26,0		
Способ очистки	Частота использования, раз/ч	Время использования, с	Температура кожного покрова, °C	Частота использования, раз/ч	Время использования, с	Температура кожного покрова, °C	Частота использования, раз/час	Время использования, с	Температура кожного покрова, °C
Сухая очистка	0,64 ± 0,01	42,1 ± 0,1	32,1 ± 0,1	0,77 ± 0,01	45,9 ± 0,1	32,9 ± 0,1	1,05 ± 0,01	59,1 ± 0,1	33,2 ± 0,1
Влажная очистка	0,57 ± 0,01	38,4 ± 0,1	28,4 ± 0,1	0,73 ± 0,01	43,7 ± 0,1	29,6 ± 0,1	1,19 ± 0,01	59,8 ± 0,1	30,1 ± 0,1
Без очистки	–	–	33,7 ± 0,1	–	–	34,2 ± 0,1	–	–	34,7 ± 0,1

Результаты исследования показали, что с увеличением температуры окружающего воздуха возрастает и время использования автоматических щеток коровами (рис. 5). Стоит выделить, что при температуре 26 °С среднее время использования выше на 24% у щеток, осуществляющих влажную очистку.

Данные собирали ежедневно в течение всего периода наблюдения. Каждый день проводили измерения температуры кожи (сразу после использования щетки и спустя некоторое время после ее окончания). Эти данные затем использовали для построения моделей и проведения статистического анализа.

Для математического описания полученных зависимостей были использованы однофакторные уравнения регрессии, выбираемые из ряда простых функций: линейной, полиномиальной 2-го и 3-го порядка, показательной, гиперболической, степенной, логарифмической и экспоненциальной. При этом предпочтение отдавали функциям, обеспечивающим наибольшую точность воспроизведения экспериментальных данных по минимальной средней ошибке при минимальном количестве входящих в нее параметров.

В качестве уравнений регрессии, иллюстрирующих зависимости температуры кожного покрова животных от температуры воздуха, были использованы линейные функции вида:

$$T_{\text{кп}} = A + B \times T_{\text{возд}}, \quad (1)$$

где A и B — постоянные параметры, рассчитанные методом наименьших квадратов.

Для опыта при влажной очистке $A = 129,57$ и $B = 0,62$, при сухой очистке $A = 25,74$ и $B = 0,29$, при отсутствии очистки $A = 26,78$ и $B = 0,31$. При этом уравнения регрессии обеспечивают средние ошибки 2,44%, 0,25% и 0,19% соответственно. Одновременно были вычислены коэффициенты парной корреляции (0,78, 0,97 и 0,98) при коэффициентах детерминации 0,62, 0,95 и 0,97 соответственно.

Зависимости частоты использования животными щеточных устройств от температуры воздуха при влажной и сухой очистке имеют два слабых экстремума. Для описания этих зависимостей целесообразно использовать полиномы 3-го порядка вида:

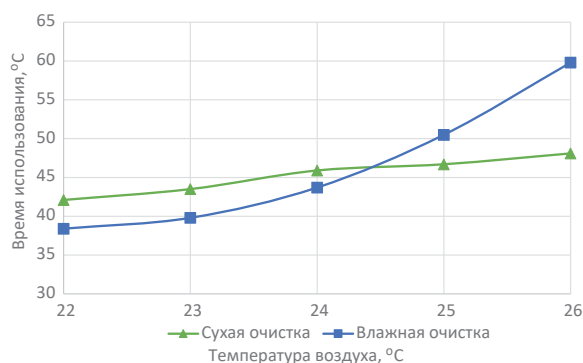
$$T_{\text{кп}} = A + B \times f + C \times f^2 + D \times f^3. \quad (2)$$

Параметры этих полиномов рассчитывались решением системы четырех линейных уравнений. В результате расчета были получены следующие значения: для влажной очистки $A = 359,17$, $B = -44,52$, $C = 1,83$, $D = -0,025$; для сухой очистки $A = -121,32$, $B = 15,39$, $C = -0,649$, $D = 0,009$.

При этом средние ошибки составили 3,29% и 0,96%, коэффициенты корреляции 0,98 и 0,97

Рис. 5. Время использования коровами автоматических щеток

Fig. 5. The time when cows use automatic brushes



и коэффициенты детерминации 0,98 и 0,99 для влажной и сухой очистки соответственно.

Зависимости продолжительности использования щеточных устройств от температуры воздуха были аппроксимированы степенными функциями вида:

$$\tau = A \times (T_{\text{возд}})^B. \quad (3)$$

Для линеаризации этой функции в процессе использования метода наименьших квадратов осуществлялось логарифмирование. При этом были получены следующие результаты: для влажной очистки $A = 0,0056$, $B = 2,8366$; для сухой очистки $A = 2,9892$, $B = 0,8547$.

По результатам сравнения экспериментальных и теоретических значений продолжительности использования щеточных устройств средние ошибки составили 3,15% и 0,88%, коэффициенты корреляции 0,98 и 0,97, коэффициенты детерминации 0,95 и 0,96 для влажной и сухой очистки соответственно.

Однофакторный дисперсионный анализ показал статистически значимые различия между эффектами сухой и влажной очистки на температуру кожи коров: $F(1,18) = 12,34$, $p < 0,01$. Средняя разница в снижении температуры кожи составила $3,4 \pm 0,1$ °C при температуре воздуха 22 °C и 24 °C, а при температуре воздуха 26 °C — $3,1 \pm 0,1$ °C, причем влажная чистка оказалась эффективнее сухой.

Полученные результаты подтверждают предположение о том, что применение автоматических щеток для очистки кожного покрова коров оказывает существенное влияние на температуру поверхности кожи коров и, как следствие, на теплообмен с окружающей средой. При этом эффект снижения температуры кожного покрова зависит как от внешних факторов, таких как температура и относительная влажность воздуха, так и от способа очистки. Более высокие показатели температуры воздуха увеличивают риск перегрева животных, тогда как влажная очистка кожного покрова позволяет снизить эту угрозу путем увеличения отвода тепла за счет процесса испарения.

Важно отметить, что полученные данные следует интерпретировать с учетом ограничений исследования — диапазона температур и относительной влажности окружающего воздуха, а также количества и породы животных.

Несмотря на эти ограничения, полученные результаты согласуются с предыдущими данными исследований, описывающими влияние применения очистки кожного покрова на снижение теплового стресса у коров [16]. Таким образом, установлен эффект от использования увлажняющих автоматических щеток для снижения тепловых стрессов у коров, обеспечивающих возможность, в дополнение к системам местной принудительной вентиляции, индивидуального охлаждения каждого животного по его тепловым ощущениям.

Результаты предоставляют важную информацию для фермерских хозяйств, стремящихся автоматизировать производство (и в частности, уход за своими стадами). Применение автоматических щеток для очистки кожного покрова позволяет уменьшить возможные последствия теплового стресса и улучшить общие условия содержания животных, тем самым повышая их продуктивность и благополучие.

На основе проведенных исследований получен патент «Моющее устройство для коров»² в составе с автоматической щеткой с форсунками для смазывания водой ворса щетки и кожной поверхности коров.

Полученные результаты служат основой для дальнейших исследований по обоснованию рациональных параметров и режимов работы автоматического щеточного устройства с устройством подачи воды для снижения теплового стресса у коров.

Выводы/Conclusions

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение автоматических щеток, оборудованных устройством подачи воды для проведения влажной очистки кожного покрова с целью снижения тепловых стрессов в летний

период времени, эффективно для снижения влияния теплового стресса.

Использование сухой и влажной очистки кожного покрова позволяет снизить температуру кожного покрова при 26 °C на 1,5 °C и 4,6 °C, соответственно, в сравнении с группой животных, не имеющей доступа к автоматической щетке.

С ростом температуры воздуха с 22 до 26 °C частота подходов животных к автоматической щетке в группе с влажной очисткой возросла на 13% по сравнению с группой, которая использовала сухую очистку. При температуре воздуха 26 °C средняя продолжительность времени использования автоматической щетки в группе животных, которые использовали влажную очистку, выше на 24%, чем у группы животных, использовавших сухую очистку кожного покрова. При температуре воздуха 22 °C разница в количестве подходов и во времени использования автоматических щеток в группах животных с влажной и сухой очисткой была незначительной.

Таким образом, установлено, что коровы в коровнике, оборудованном для снижения тепловых стрессов местной принудительной вентиляцией, в летний период используют дополнительно и автоматические щетки, причем при повышении температуры окружающего воздуха животные чаще и продолжительнее проводят себе влажную очистку кожного покрова, чем сухую. Применяя влажные щетки, каждой корове предоставляется возможность по своим тепловым ощущениям принимать решение о целесообразности дополнительного охлаждения, чем она и пользуется. Тем самым подтверждена целесообразность рассматривания для борьбы с тепловыми стрессами двух объектов управления — как коровника, так и самого животного.

Перспективными являются дальнейшие исследования по обоснованию рациональных параметров и режимов работы автоматического щеточного устройства с устройством подачи воды для снижения теплового стресса у коров.

² Патент на полезную модель «Моющее устройство для коров» № 226287, № заявл. 2023125868 от 10.10.2023. Опубл. 29.05.2024.

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. Довлатов И.М., Комков И.В., Базаев С.О., Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р. Влияние теплового стресса, определение температурно-влажностного индекса. *Аграрная наука*. 2024; (10): 171–176. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176>
2. Dovolou E., Giannoulis T., Nanas I., Amiridis G.S. Heat Stress: A Serious Disruptor of the Reproductive Physiology of Dairy Cows. *Animals*. 2023; 13(11): 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
3. Иванов Ю.Г., Баймуханов Д.А., Борулько В.Г., Понизовкин Д.А., Джанабекова Г.К. Влияние очистки кожного покрова коров на физиологические показатели при тепловых стрессах в теплый период времени. *Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан*. 2020; (4): 100–108 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.109>

REFERENCES

1. Dovlatov I.M., Komkov I.V., Bazaev S.O., Vladimirov F.E., Khakimov A.R. Effect of heat stress, determination of temperature-humidity index. *Agrarian science*. 2024; (10): 171–176 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176>
2. Dovolou E., Giannoulis T., Nanas I., Amiridis G.S. Heat Stress: A Serious Disruptor of the Reproductive Physiology of Dairy Cows. *Animals*. 2023; 13(11): 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
3. Ivanov Yu.G., Baimukanov D.A., Borulko V.G., Ponizovkin D.A., Dzhanabekova G.K. Influence of cow skin cleaning on physiological parameters under heat stresses in warm season. *Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020; (4): 100–108. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.109>

4. Berman A. Effects of body surface area estimates on predicted energy requirements and heat stress. *Journal of Dairy Science*. 2003; 86(11): 3605–3610. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73966-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73966-6)
5. Berman A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science*. 2005; 83(6): 1377–1384. <https://doi.org/10.2527/2005.8361377x>
6. Collier R.J., Baumgard L.H., Zimelman R.B., Xiao Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 2019; 9(1): 12–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
7. Новиков Н.Н., Кольчик И.Е. Современное оборудование и технические средства обеспечения микроклимата на животноводческих фермах. *Техника и технологии в животноводстве*. 2020; (1): 81–88. <https://elibrary.ru/mwdcet>
8. Кольчик И.Е., Новиков Н.Н. Усовершенствование технических решений водоиспарительных систем кондиционирования воздуха в животноводческих помещениях. *Техника и технологии в животноводстве*. 2022; (1): 32–38. <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-1-32>
9. Кирсанов В.В., Довлатов И.М., Комков И.В., Юрочка С.С. Современные подходы к системам обеспечения параметров воздуха в животноводческих помещениях. *Техника и технологии в животноводстве*. 2022; (4): 61–71. <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-4-61>
10. Berman A. Tissue and external insulation estimates and their effects on prediction of energy requirements and of heat stress. *Journal of Dairy Science*. 2004; 87(5): 1400–1412. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73289-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73289-0)
11. Berman A. Predicted limits for evaporative cooling in heat stress relief of cattle in warm conditions. *Journal of Animal Science*. 2009; 87(10): 3413–3417. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1104>
12. Berman A. An overview of heat stress relief with global warming in perspective. *International Journal of Biometeorology*. 2019; 63(4): 493–498. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01680-7>
13. Кирсанов В.В., Цой Ю.А., Павкин Д.Ю. Разработка автоматизированного и роботизированного комплекса машин и оборудования с интеллектуальными цифровыми технологиями для развития молочного животноводства. *Техника и технологии в животноводстве*. 2022; (2): 24–31. <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-2-24>
14. Assatbayeva G., Issabekova S., Uskenova R., Karymsakov T., Abdrakhmanov T. Influence of microclimate on ketosis, mastitis and diseases of cow reproductive organs. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 2022; 10(3): 2230.
15. Комков И.В., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Благоев Д.А., Хакимов А.Р. Обоснование современной системы обеспечения температурных режимов для уменьшения стресса животных. *Аграрный научный журнал*. 2024; (11): 142–149. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp142-149>
16. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Odintsova A.A. Impact analysis of cow skin cleaning methods on heat stress. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2024; 22(5): 1087–1095.
17. Бычкова Т.К., Конарева К.А., Демина А.Е., Новикова Д.С. Влияние теплового стресса на физиологическое состояние и продуктивность крупного рогатого скота. *Аграрная наука и инновационное развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы. Сборник материалов Международной научной конференции. Смоленск: Смоленская государственная сельскохозяйственная академия*. 2024; 13–20. <https://elibrary.ru/ocfxdf>
18. Муханина Е.Н., Сафина Н.Ю., Гайнутдинова Э.Р., Шакиров Ш.К. Последствия длительного воздействия теплового стресса на коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции в зависимости от зооигиенических условий содержания. *Достижения и перспективы развития АПК России. Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 300-летию РАН. Казань: АН РТ*. 2024; 147–150. https://doi.org/147-150.10.37071/conferencearticle_67337e4123b5b7.06728651
4. Berman A. Effects of body surface area estimates on predicted energy requirements and heat stress. *Journal of Dairy Science*. 2003; 86(11): 3605–3610. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73966-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73966-6)
5. Berman A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science*. 2005; 83(6): 1377–1384. <https://doi.org/10.2527/2005.8361377x>
6. Collier R.J., Baumgard L.H., Zimelman R.B., Xiao Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 2019; 9(1): 12–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
7. Novikov N.N., Kolchik I.E. The modern equipment and technical means of microclimate on livestock farms providing. *Machinery and technologies in livestock*. 2020; (1): 81–88 (in Russian). <https://elibrary.ru/mwdcet>
8. Kolchik I.E., Novikov N.N. Improvement of livestock premises water-evaporating air conditioning systems' technical solutions. *Machinery and technologies in livestock*. 2022; (1): 32–38 (in Russian). <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-1-32>
9. Kirsanov V.V., Dovlatov I.M., Komkov I.V., Yurochka S.S. The modern approaches to livestock premises' air providing systems parameters. *Machinery and technologies in livestock*. 2022; (4): 61–71 (in Russian). <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-4-61>
10. Berman A. Tissue and external insulation estimates and their effects on prediction of energy requirements and of heat stress. *Journal of Dairy Science*. 2004; 87(5): 1400–1412. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73289-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73289-0)
11. Berman A. Predicted limits for evaporative cooling in heat stress relief of cattle in warm conditions. *Journal of Animal Science*. 2009; 87(10): 3413–3417. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1104>
12. Berman A. An overview of heat stress relief with global warming in perspective. *International Journal of Biometeorology*. 2019; 63(4): 493–498. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01680-7>
13. Kirsanov V.V., Tsoi Yu.A., Pavkin D.Yu. Design of automated and robotic machines' complex and intelligent digital technologies' equipment for dairy farming development. *Machinery and technologies in livestock*. 2022; (2): 24–31 (in Russian). <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-2-24>
14. Assatbayeva G., Issabekova S., Uskenova R., Karymsakov T., Abdrakhmanov T. Influence of microclimate on ketosis, mastitis and diseases of cow reproductive organs. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 2022; 10(3): 2230.
15. Komkov I.V., Dovlatov I.M., Yurochka S.S., Blagov D.A., Khakimov A.R. Substantiation of modern system of providing temperature regimes to reduce stress of animals. *Agrarian Scientific Journal*. 2024; (11): 142–149 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp142-149>
16. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Odintsova A.A. Impact analysis of cow skin cleaning methods on heat stress. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2024; 22(5): 1087–1095.
17. Bychkova T.K., Konareva K.A., Demina A.E., Novikova D.S. The effect of heat stress on the physiological state and productivity of cattle. *Agricultural science and innovative development of the agro-industrial complex: state, problems and prospects. Collection of materials of the International scientific conference. Smolensk: Smolensk State Agricultural Academy*. 2024; 13–20 (in Russian). <https://elibrary.ru/ocfxdf>
18. Mukhanina E.N., Safina N.Yu., Gainutdinova E.R., Shakirov Sh.K. Consequences of long-term exposure to heat stress on Holstein cows of domestic and foreign selection depending on zoohygienic conditions of maintenance. *Achievements and prospects for the development of the agro-industrial complex of Russia. Proceedings of the XIV All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. Kazan: Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan*. 2024; 147–150 (in Russian). https://doi.org/147-150.10.37071/conferencearticle_67337e4123b5b7.06728651

ОБ АВТОРАХ

Юрий Григорьевич Иванов¹

доктор технических наук, профессор кафедры
механизации сельского хозяйства
iy.electro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4766-9532>

Сергей Андреевич Андреев¹

доктор технических наук, доцент
energo-andreev@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

Дмитрий Андреевич Понизовкин²

кандидат технических наук, преподаватель
ponizovkind@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8936-7164>

¹Российский государственный аграрный университет —
МСХА им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

²Московский государственный колледж электромеханики
и информационных технологий,
ул. Академика Миллионщикова, 20, Москва, 115446,
Россия

ABOUT THE AUTHORS:

Yuri Grigorievich Ivanov¹

Doctor of Technical Sciences; Professor
of the Department of Agricultural Mechanization
iy.electro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4766-9532>

Sergey Andreevich Andreev¹

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
energo-andreev@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

Dmitry Andreevich Ponizovkin²

Candidate of Technical Sciences, Lecturer
ponizovkind@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8936-7164>

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev
Agricultural Academy,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia

²Moscow State College of Electromechanics and Information
Technologies,
20 Akademik Millionshchikov Str., Moscow, 115446,
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

ОЛЕОСТАТ — НАТУРАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ВАШЕЙ ПТИЦЫ

Эффективный инструмент для борьбы с ключевыми заболеваниями желудочно-кишечного тракта, такими как клостридиоз, а также кокцидиоз, гистомоноз и другие протозойные заболевания



oleostat®

Высокотехнологичная разработка французской компании ССРА – мирового лидера в производстве премиксов и кормовых добавок

Эффективное решение для повышения продуктивности сельскохозяйственной птицы

Технология локализована в России — производство на площадке ГК ВИК в Белгороде

Европейское качество и российская доступность – современный стандарт защиты поголовья в одном продукте



Российские агрохолдинги доверяют

Состав:

- Экстракт гвоздики (Эвгенол)
- Эфирное масло кассии (Коричный альдегид)
- Экстракт чеснока (Аллицин)
- Экстракт куркумы (Куркумин)
- Экстракт имбиря (Гингерол)
- Экстракт стручкового перца (Капсаицин)

vicgroup.ru

- ✓ Подтверждённая эффективность в любых производственных условиях — стабильные результаты в полевых испытаниях
- ✓ Снижает коэффициент конверсии корма за счёт защиты кишечника и улучшения усвоения питательных веществ
- ✓ Гарантирует качество и безопасность готовой продукции
- ✓ 100% натуральная формула — способствует сокращению использования антибиотиков
- ✓ Совместим с любыми ветеринарными схемами — легко внедряется в практику хозяйства
- ✓ Подходит для всех видов сельскохозяйственной птицы — универсальное решение для отрасли
- ✓ Без ограничений по мясу, допускается введение в рацион до последнего дня выращивания