

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

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

6
2026



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Наш
канал
в МАКС



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



ВЕТЕРИНАРИЯ

Влияние физиологического статуса свиноматок на уровни аммиака и сероводорода в воздухе свиноводческих помещений

56

ЗООТЕХНИЯ

Сравнительный анализ полиморфизма митохондриального гена цитохрома b (*CytB*) у российских и индийских пород коз

103

АГРОНОМИЯ

Дифференцированный подход к выбору сортов озимой пшеницы и возможность расширения оптимальных сроков посева

123

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Приглашаем к сотрудничеству: анонсируйте ваше научное мероприятие

Уважаемые коллеги, организаторы научных мероприятий и представители академического сообщества, редакция журнала «Аграрная наука» ведет онлайн-календарь мероприятий — конференций, симпозиумов, семинаров, вебинаров и школ, предоставляя аудитории актуальную информацию о возможностях для профессионального роста и научного обмена.

Чтобы сделать этот ресурс максимально полным и полезным для научного сообщества, мы предлагаем организаторам научных ивентов бесплатно размещать анонсы предстоящих мероприятий.

Наша цель — создать централизованный и надежный источник информации, который поможет исследователям, аспирантам и студентам быть в курсе событий, а организаторам — эффективно информировать целевую аудиторию.

Преимущества размещения научного анонса в нашем календаре:

- Бесплатное размещение для аудитории, заинтересованной в посещении научно-образовательных мероприятий;
- Повышение узнаваемости вашего ивента среди активного научного сообщества;
- Содействие в привлечении потенциальных участников и докладчиков.

Направляйте ваш анонс по адресу agrovetpress@inbox.ru

Будем рады сотрудничеству. Давайте вместе поможем развитию научной коммуникации!

Календарь отраслевых мероприятий
<https://agrarnayanauka.ru/vce-meropriyatiya/>



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



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

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

Индексация журнала «Аграрная наука»

Префикс DOI: 10.32634
eLIBRARY.RU: да
РИНЦ: да
Ядро РИНЦ: да
Рейтинг Science Index: да
Процентиль в рейтинге Science Index: 18
Перечень ВАК РФ: да
Категория в Перечне ВАК РФ: 2
"Белый список": да
Уровень в «Белом списке»: 4
ЕГПНИ: да
Уровень в ЕГПНИ: 2
CrossRef: да
RSCI: да
Базы данных: AGRIS, РИНЦ, DOI, EBSCO
DOAJ: нет
Web of Science: нет
Scopus: нет

6 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 407, номер 6, 2026

Volume 407, number 6, 2026

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© журнал «Аграрная наука»

© авторы

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

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

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

Шеф-редактор Костромичева И.В.

Научный редактор Долгая М.Н.

Дизайн и верстка Антонов С.Н.

Редактор-корректор Кузнецова Г.М.

Библиограф Нерозник Д.С.

Журналист Седова Ю.Г.

Менеджер по работе с клиентами Теплова А.С.

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

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

Тел. редакции +7 (916) 616-05-31

agrovetpress@inbox.ru

www.vetpress.ru

<https://agrarnayanauka.ru>

Реклама в журнале: +7 (927) 155-08-10

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

На печатный журнал можно подписаться:

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

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

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

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

на сайте научной электронной библиотеки www.elibrary.ru

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.

Подписано в печать 22.06.2026

Дата выхода в свет 29.06.2026

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

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

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

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

Издатель:

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора:

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

Редакционная коллегия

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АГРОНОМИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

6 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 407, номер 6, 2026

Volume 407, number 6, 2026

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© journal «Agrarian science»

© authors

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

Founder: Limited liability company "VIC Animal Health"

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

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

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

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

You can subscribe to the print magazine:

— in the editorial office by phone.

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

agrovetpress@inbox.ru

— in the subscription agency Ural-Press Okrug

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

Free subscription to the electronic version of the

magazine — <https://agrarnayanauka.ru>

Subscription to archived issues and individual articles:

— on the website of the Scientific editorial staff

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

— on the website of the Scientific Electronic Library

www.elibrary.ru

The circulation of 2000 copies.

Signed in print 22.06.2026

Release date 29.06.2026

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

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

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

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

Publisher:

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

Deputy Editor-in-Chief

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

THE EDITORIAL BOARD

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Both Russian and foreign authors are invited to publication.

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

AGRONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ

Язид Хатиб, Руденко П.А., Ватников Ю.А., Куликов Е.В., Семенова В.И., Гусев Д.А. Бешенство на Ближнем Востоке: влияние социальных и экономических факторов на распространение инфекции	8
Завьялова Е.А., Гулюкин А.М. Эпизоотический гемопоэтический некроз рыб	15
Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Безопасность мяса дикого кабана (<i>Sus scrofa</i>): возможные риски (научный обзор, часть 1)	22
Крупин Е.О. Влияние этиологии заболеваний на лактационные и репродуктивные показатели выбракованных коров и первотелок	36
Ozel H., Uslu B.A., Narlıçay S. Comparison of Different Progesterone-Supported Synchronization Protocols in Heifers	48
Щербаков П.Н., Дерхо М.А., Гриценко С.А., Гуменюк О.А., Ческидов М.В. Влияние физиологического статуса свиноматок на уровни аммиака и сероводорода в воздухе свиноводческих помещений	56
Межиева З.Х., Моторыгин А.В., Абросимова Н.С., Панин А.Н. Разработка комбинированного энтеросорбента на основе диоксида кремния с иммобилизованными антиоксидантными антителами для специфической профилактики и лечения эшерихиоза молодняка сельскохозяйственных животных	66
Макарова-Горбачева Е.В., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Лукенюк Е.В., Балиев Г.Б., Сысоева А.Д., Зурначян А.Б., Светкина А.С. Исследование динамики экспрессии генов антиоксидантных ферментов в тканях мозга и сердца крыс после воздействия острой нормобарической гипоксии	79

ЗООТЕХНИЯ

Новгородова И.П., Чабаяев М.Г., Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В. Гормональный и биохимический статус организма ремонтных телок при скормливании хрома в органической форме	87
Абдурасулов А.Х., Токтосунов Б.И., Исакунов А.М. Оценка качества спермы жеребцов-производителей русской рысистой породы	95
Кошкина О.А., Денискова Т.Е., Чурбакова Н.А., Соловьева А.Д., Доцев А.В., Зиновьева Н.А. Сравнительный анализ полиморфизма митохондриального гена цитохрома b (<i>Cytb</i>) у российских и индийских пород коз	103

АГРОНОМИЯ

Васильев А.С., Кудласевич И.А., Фаринюк Ю.Т. Влияние средств механизации для обработки почвы на ее характеристики и продуктивность овса	114
Сухарев А.А., Иванисов М.М., Копман И.К. Дифференцированный подход к выбору сортов озимой пшеницы и возможность расширения оптимальных сроков посева	123
Курбанов С.А., Магомедов Ад.И., Магомедова Д.С. Влияние сроков посева и норм высева на структуру урожайности зерна перспективных сортов гороха в условиях Республики Дагестан	131
Старчак В.И., Гусейнов Р.Р. о., Степанченко Д.А., Семин Д.С., Куколева С.С. Корреляционные связи морфометрических признаков веничного сорго	138

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Салахов М.Р., Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б. Оптимизация состава белковой добавки и ее применение в технологии высокобелковых хлебцев	145
Ребезов Я.М., Ребезов М.Б., Медведева У.Ю. Лактоферрин в пищевых системах: функциональные свойства, технологии производства и нормативное регулирование	156
Гibaдуллин Р.Р., Семенова О.Д. Архитектура программно-аппаратного комплекса обработки больших данных в распределенных системах мониторинга и диагностики технологических параметров сельскохозяйственных объектов	173
Хоичко А.Н. Формирование у обучающихся компетенций работы с технологиями больших данных в контексте информатизации агропромышленного комплекса: модель и опытно-экспериментальная работа	179

CONTENTS

VETERINARY MEDICINE

<i>Yazid Khatib, Rudenko P.A., Vatrikov Yu.A., Kulikov E.V., Semenova V.I., Gusev D.A.</i> Rabies in the Middle East: The Impact of Social and Economic Factors on the Spread of Infection	8
<i>Zavyalova E.A., Gulyukin A.M.</i> Epizootic hematopoietic necrosis of fish	15
<i>Rebezov Ya.M., Rebezov M.B.</i> Safety of wild boar (<i>Sus scrofa</i>) meat: potential risks (scientific review, part 1)	22
<i>Krupin E.O.</i> Impact of Disease Etiology on Lactation and Reproductive Performance in Culled Cows and First-Calf Heifers	36
<i>Ozel H., Uslu B.A., Narlıçay S.</i> Comparison of Different Progesterone-Supported Synchronization Protocols in Heifers	48
<i>Shcherbakov P.N., Derkho M.A., Gritsenko S.A., Gumenyuk O.A., Cheskidov M.V.</i> Influence of the physiological status of sows on ammonia and hydrogen sulfide levels in the air of pig housing facilities	56
<i>Mezhieva Z.Kh., Motorygin A.V., Abrosimova N.S., Panin A.N.</i> Development of a Combined Enterosorbent Based on Silicon Dioxide with Immobilized Antitoxic Antibodies for Specific Prophylaxis of Escherichiosis in Young Animals	66
<i>Makarova-Gorbacheva E.V., Pavlova O.N., Gulenko O.N., Lukenyuk E.V., Baliev G.B., Sysoeva A.D., Zurnachyan A.B., Svetkina A.S.</i> Study of the dynamics of expression of antioxidant enzyme genes in rat brain and heart tissues after exposure to acute normobaric hypoxia	79

ZOOTECHNICS

<i>Novgorodova I.P., Chabaev M.G., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V.</i> Hormonal and biochemical status of the body of repair heifers when feeding chromium in organic	87
<i>Abdurasulov A.Kh., Toktosunov B.I., Isakunov A.M.</i> Assessment of semen quality of breeding stallions of the Russian trotter breed	95
<i>Koshkina O.A., Deniskova T.E., Churbakova N.A., Solovieva A.D., Dotsev A.V., Zinovieva N.A.</i> Comparative analysis of mitochondrial cytochrome b (CytB) gene polymorphism in Russian and Indian goat breeds	103

AGRONOMY

<i>Vasiliev A.S., Kudlasevich I.A., Farinyuk Yu.T.</i> The influence of mechanization tools for tillage on its characteristics and productivity of oats	114
<i>Sukharev A.A., Ivanisov M.M., Kopman I.K.</i> The variety selection makes it possible to expand the range of optimal sowing dates for winter wheat	123
<i>Kurbanov S.A., Magomedov Ad.I., Magomedova D.S.</i> Impact of Sowing Dates and Sowing Rates on Grain Yield Structure of Promising Pea Varieties in the Republic of Dagestan	131
<i>Starchak V.I., Huseynov R.R.o., Stepanchenko D.A., Semin D.S., Kukoleva S.S.</i> Correlations of morphometric features of broom sorghum	138

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Salakhov M.R., Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B.</i> Optimization of the composition of a protein additive and its application in high-protein crispbread technology	145
<i>Rebezov Ya.M., Rebezov M.B., Medvedeva U.Y.</i> Lactoferrin in Food Systems: Functional Properties, Manufacturing Technologies, and Regulatory Aspects	156
<i>Gibadullin R.R., Semenova O.D.</i> Architecture of a hardware-software complex for big data processing in distributed monitoring and diagnostic systems of technological parameters of agricultural objects	173
<i>Kokhichko A.N.</i> Developing big data competencies in learners within the context of agro-industrial complex informatization: a model and experimental work	179

УДК 631.223.6:636.022

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-8-14

Язид Хатиб

П.А. Руденко ✉

Ю.А. Ватников

Е.В. Куликов

В.И. Семенова

Д.А. Гусев

Российский университет дружбы
народов имени Патриса Лумумбы,
Москва, Россия

✉ pavelrudenko76@yandex.ru

Поступила в редакцию: 10.03.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Язид Хатиб, Руденко П.А., Ватников Ю.А.,
Куликов Е.В., Семенова В.И., Гусев Д.А.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-8-14

Yazid Khatib

Pavel A. Rudenko ✉

Yury A. Vatnikov

Evgeny V. Kulikov

Valentina I. Semenova

Dmitry A. Gusev

Patrice Lumumba Peoples' Friendship
University of Russia, Moscow, Russia

✉ pavelrudenko76@yandex.ru

Received by the editorial office: 10.03.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Yazid Khatib, Rudenko P.A., Vatnikov Yu.A.,
Kulikov E.V., Semenova V.I., Gusev D.A.

Бешенство на Ближнем Востоке: влияние социальных и экономических факторов на распространение инфекции

РЕЗЮМЕ

В статье проведен анализ эпизоотической ситуации по бешенству в странах Ближнего Востока за период 2020–2024 гг. Цель исследования — проанализировать особенности эпизоотической ситуации по бешенству на Ближнем Востоке и оценить влияние социально-экономических и политических факторов на динамику заболевания, а также разработать рекомендации по совершенствованию мер контроля. На основе данных международных систем мониторинга (WAHIS/WOAH, FAO) выявлена прямая зависимость между уровнем заболеваемости, типом циркуляции вируса и социально-политической стабильностью в странах региона. Предложена типология эпизоотических режимов: неконтролируемый (Йемен, Сирия), эндемичный (Саудовская Аравия, Иран), природно-очаговый (Оман, Израиль) и благополучный (государства Персидского залива). Показано, что в зонах конфликтов происходит «урбанизация» вируса — формирование устойчивых городских очагов с участием безнадзорных собак, тогда как в стабильных странах возможен контроль даже при сохранении природных очагов. Сравнение стратегий Израиля и Йемена подтвердило, что достижение практически нулевой смертности людей возможно не через полную ликвидацию вируса, а путем сочетания массовой вакцинации животных и гарантированной доступности антирабической помощи человеку. Разработаны практические рекомендации, включающие переход к программам ОСВВ (отлов-стерилизация-вакцинация-возврат), создание трансграничных буферных зон и экономическое стимулирование населения. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования национальных и региональных программ борьбы с бешенством.

Ключевые слова: бешенство, Ближний Восток, эпизоотическая ситуация, безнадзорные животные, вакцинопрофилактика, трансграничные риски

Для цитирования: Язид Хатиб, Руденко П.А., Ватников Ю.А., Куликов Е.В., Семенова В.И., Гусев Д.А. Бешенство на Ближнем Востоке: влияние социальных и экономических факторов на распространение инфекции. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 8–14. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-8-14>

Rabies in the Middle East: The Impact of Social and Economic Factors on the Spread of Infection

ABSTRACT

An analysis of the epizootic situation of rabies in the Middle Eastern countries for the period 2020–2024 was carried out. The research objective was to analyze the features of the rabies epizootic situation in the Middle East, to assess the influence of socio-economic and political factors on the disease dynamics, and to develop recommendations for improving control measures. Based on data from international monitoring systems (WAHIS/WOAH, FAO), a direct correlation was revealed between the incidence level, the type of virus circulation, and the socio-political stability in the countries of the region. A typology of epizootic regimes was proposed: uncontrolled (Yemen, Syria), endemic (Saudi Arabia, Iran), sylvatic (Oman, Israel), and rabies-free (Persian Gulf states). It was shown that in conflict zones, “urbanization” of the virus occurs — the formation of stable urban foci with the involvement of stray dogs, while in stable countries, control is possible even with the preservation of natural foci. A comparison of the strategies of Israel and Yemen confirmed that achieving near-zero human mortality is possible not through complete virus eradication, but by combining mass animal vaccination and guaranteed availability of anti-rabies care for humans. Practical recommendations were developed, including the transition to CNVR (Catch-Neuter-Vaccinate-Release) programs, the creation of cross-border buffer zones, and economic incentives for the population. The obtained results can be used to improve national and regional rabies control programs.

Key words: rabies, Middle East, epizootic situation, stray animals, vaccine prophylaxis, cross-border risks

For citation: Yazid Khatib, Rudenko P.A., Vatnikov Yu.A., Kulikov E.V., Semenova V.I., Gusev D.A. Rabies in the Middle East: The Impact of Social and Economic Factors on the Spread of Infection. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 8–14 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-8-14>

Введение/Introduction

В настоящее время современная эпизоотология превратилась в высокотехнологичную и прогностическую науку. Однако, несмотря на прорыв в геномике и молекулярной эпидемиологии, создание глобальных интегрированных систем эпиднадзора, введение ВОЗ концепции «Единое здоровье», новые подходы к вакцинации диких и домашних животных, бешенство продолжает оставаться одной из наиболее опасных зоонозных инфекций в мире. Ежегодно от этой болезни погибает около 60 тысяч человек, причем более 95% случаев связано с укусами собак [1–3]. Отсутствие лечения на стадии клинической манифестации заболевания и абсолютная летальность подчеркивают критическую важность своевременных профилактических и противоэпизоотических мероприятий [4, 5].

Следует отметить, что ситуация с бешенством на Ближнем Востоке отличается значительной неоднородностью и служит своеобразным индикатором состояния и качества работы ветеринарных и медицинских служб в странах региона [1, 2, 6]. По данным мониторинга, заболеваемость людей варьирует от 0,02 до 1,3 случаев на 1 млн населения, что сопровождается высоким объемом постэкспозиционной профилактики (ПЭП) (1700–6000 курсов на 1 млн человек) [7–9]. Глобальные расходы на борьбу с этой инфекцией ежегодно превышают 500 миллионов долларов США, включая затраты на диагностику, вакцинацию, регулирование численности животных и противоэпизоотические мероприятия [5, 10, 11].

Особую проблему при борьбе с данной инфекцией представляет дефицит достоверных эпизоотологических данных из многих стран региона. Зачастую ограниченные возможности лабораторной диагностики, особенно в зонах конфликтов и малодоступных сельских районах, приводят к значительному занижению реальных масштабов заболеваемости. Это, в свою очередь, затрудняет планирование и своевременное проведение эффективных противоэпизоотических мероприятий, а также объективную оценку их результативности [12–14]. К тому же, в регионе распространение бешенства поддерживается комплексом факторов: наличием многочисленных популяций безнадзорных собак, ослаблением ветеринарной инфраструктуры в нестабильных зонах конфликтов, а также особенностями ведения аборигенного животноводства и культурными традициями [15]. В этой связи детальное изучение влияния

социальных и экономических факторов на распространение бешенства на Ближнем Востоке является весьма актуальным направлением для научных изысканий.

Цель исследования — анализ особенностей эпизоотической ситуации по бешенству на Ближнем Востоке, оценка влияния социально-экономических и политических факторов на динамику заболевания и разработка рекомендаций по совершенствованию мер контроля.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В работе проведен ретроспективный анализ данных о бешенстве в странах Ближнего Востока за 2020–2024 гг. В основу метаанализа легли структурированные данные из открытых международных баз: официальные отчеты и базы данных Всемирной организации охраны здоровья животных (ВООЗЖ, WOAH) — система WAHIS (World Animal Health Information System)¹ и архив Handistatus II (период 2005–2024 гг.)²; данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО)³, совместные бюллетени ФАО-ВООЗЖ⁴, отчеты Европейского центра по профилактике и контролю заболеваний (ECDC)⁵, а также информация профильных региональных сетей.

Все полученные данные (о вспышках, поголовье, мероприятиях) систематизированы и верифицированы путем перекрестного сравнения источников. Для оценки эффективности мер контроля использован сравнительный метод на примере Израиля и Йемена — стран с принципиально разными подходами и результатами. Также проанализированы основные факторы, влияющие на риски распространения вируса: численность восприимчивых животных, активность перемещений через границы и эффективность проводимых профилактических мероприятий.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Эпизоотическая ситуация по бешенству на Ближнем Востоке имеет сложный характер и зависит от сочетания биологических, экономических и организационных факторов. В регионе одновременно существуют разные типы очагов инфекции: городские (связанные с безнадзорными собаками), природные (среди диких животных, таких как лисы и шакалы) и сельскохозяйственные (с участием домашнего скота). В отличие от других территорий, где обычно преобладает один тип очага,

¹ World Organisation for Animal Health (WOAH). World Animal Health Information System (WAHIS) [https://wahis.woah.org/#/home]. — Paris: WOAH.

² Handistatus II: OIE World Animal Health Information Database – Archive (2005–2024 гг.) [https://www.woah.org/en/what-we-do/animal-health-and-welfare/disease-data-collection/handistatus-ii/]. — Paris: WOAH.

³ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT: Food and Agriculture Data [https://www.fao.org/faostat/en/#home]. — Rome: FAO.

⁴ FAO & WOAH. FAO-WOAH Joint Publications and Bulletins [https://www.fao.org/ag/aginfo/programmes/en/empres/home.asp]. — Rome/Paris: FAO & WOAH.

⁵ European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) & European Food Safety Authority (EFSA). One Health surveillance and monitoring networks (e.g., VectorNet, FWD-Net) [https://www.ecdc.europa.eu/en/about-us/partnerships-and-networks/disease-and-laboratory-networks]. — Stockholm/Parma: ECDC & EFSA.

на Ближнем Востоке сформировались гибридные паразитарные системы, в которых ключевую роль играют как домашние и безнадзорные собаки, так и дикие представители семейства псовых, а в отдельных случаях — сельскохозяйственные животные [1, 4]. Все это создает дополнительные трудности для контроля заболевания. Заболеваемость бешенством на Ближнем Востоке носит сезонный характер. Наибольшее число случаев регистрируется в теплые месяцы (с апреля по октябрь). Это связано с повышением активности животных, увеличением продолжительности светового дня, брачным периодом, а также сезонной хозяйственной деятельностью человека. В зимний период заболеваемость снижается, но в южных районах с мягким климатом вирус продолжает циркулировать. Вспышки также часто связаны с массовыми мероприятиями, перемещениями людей и религиозными праздниками, когда контакты между людьми и животными учащаются [10].

Клиническая манифестация бешенства у собак приведена на рисунке 1. На рисунке запечатлена собака, привезенная военными из Сектора Газа в Израиль, животное в стадии клинического проявления бешенства. Визуально отмечается резкое изменение поведенческого фенотипа: поза собаки напряжена, взгляд фиксированный, «остекленевший», с выраженным мидриазом (расширением зрачков). Характерный патогномичный признак — обильная, пенистая слювация (слюнотечение), вызванная параличом глоточной мускулатуры и невозможностью глотания. Шерсть в области нижней челюсти и груди мокрая и скотканная. Может наблюдаться прострация, мышечная дрожь или непроизвольные спазмы. Данное изображение служит наглядной демонстрацией стадии возбуждения, когда животное, утратив инстинкт самосохранения, становится крайне опасным источником вируса, вследствие неконтролируемых укусов.

В этой связи собаки остаются основным эпизоотологическим звеном, ответственным за передачу вируса человеку в 95% случаев, формируя устойчивый антропоургический (городской)

тип циркуляции [6, 15]. Однако в разных странах ситуация имеет свои особенности. Так, в Саудовской Аравии, например, важным вторичным резервуаром стали верблюды. Это явление связано с традиционным животноводством и высокой плотностью поголовья, что расширяет спектр потенциальных источников инфекции [14]. В Омане, напротив, сложился выраженный сylvaticкий очаг с доминированием лисиц, а роль собак минимизирована вследствие культурно-религиозных особенностей региона [3]. В Израиле активная циркуляция вируса поддерживается в популяциях диких псовых — лисиц и шакалов, что требует применения специализированных мер контроля, таких как оральная иммунизация диких животных. Помимо этого, недооцененную, но существенную эпидемиологическую роль играют кошки, которые в некоторых странах, например, в Саудовской Аравии, становятся причиной более четверти всех укусов людей, выступая потенциальным связующим звеном между дикой фауной, безнадзорными собаками и человеком [4, 9].

На динамику распространения бешенства в регионе решающее влияние оказывает политическая и экономическая стабильность. Так, в странах, находящихся в состоянии длительных конфликтов (Сирия, Ирак, Йемен), наблюдается системная деградация ветеринарной службы. Разрушение инфраструктуры, перемещения людей и животных, а также скопления бытового мусора ведут к быстрому росту числа бездомных собак. В этой связи в Сирии частота укусов животных достигла 112 случаев на 100 тысяч человек, а доступ к жизненно важной антирабической помощи крайне затруднен. В Ираке в период с 2001 по 2010 гг. число случаев бешенства выросло в три раза, что совпало с активной фазой военных действий и последующим упадком системы ветеринарного контроля. В Йемене инфекция поддерживается огромной популяцией собак (более 1 млн), при этом уровень вакцинации составляет менее 20%, а в сельских районах система ветеринарной службы практически отсутствует, что приводит к массовому сокрытию случаев заболевания. В противоположность этому, страны с устойчивой работой ветеринарной службы демонстрируют иные результаты. Так, в Израиле, благодаря обязательной вакцинации домашних животных, мониторингу дикой фауны и доступной медицинской помощи, с 2003 г. зарегистрирован лишь один смертельный случай (2024 г., у пациента, отказавшегося получить ПЭП после контакта). При этом вирус продолжает циркулировать среди животных (50–80 подтвержденных случаев в год). Вместе с тем, государства Персидского залива (ОАЭ, Катар, Бахрейн, Кувейт) сохраняют статус свободных от бешенства за счет географической изоляции, строгого контроля на границах и профилактической вакцинации животных [11, 13].

Проведенный метаанализ позволяет систематизировать эпизоотические режимы стран

Рис. 1. Клинические проявления буйной формы бешенства у собаки в Израиле, 2025 г. (из архива автора Язид Хатиб)

Fig. 1. Clinical manifestations of the furious form of rabies in a dog in Israel, 2025 (from the author's archive Yazid Khatib)



Таблица 1. Типология эпизоотических режимов стран Ближнего Востока

Table 1. Typology of Epizootic Systems across Middle Eastern States

Тип режима	Характеристика	Ключевые факторы	Страны-представители	Риск для человека
Антропоургический неконтролируемый	Доминирование бешенных собак. Отсутствие системного контроля	Военные конфликты, разрушение инфраструктуры, отсутствие вакцинации	Йемен, Сирия, отдельные провинции Ирака	Критически высокий
Антропоургический эндемичный	Смешанные очаги (собаки, с/х животные). Очаговый мониторинг	Традиционное животноводство, наличие специфических хозяев (верблюды)	Саудовская Аравия, Турция, Иран, Ливан	Высокий/средний
Природно-очаговый	Циркуляция в дикой природе (лисы, шакалы)	Природные особенности, низкая плотность собак	Оман, Израиль (частично)	Средний/низкий
Изолированный благополучный	Отсутствие автохтонных случаев	Географическая изоляция, жесткий ветеринарный контроль	Бахрейн, Катар, ОАЭ, Кувейт, Кипр	Минимальный (риск завозных случаев)

региона в рамках единой типологии, которая нашла свое отражение в таблице 1.

Данная типология демонстрирует, как один и тот же возбудитель в различных регионах может формировать принципиально разные паразитарные системы в зависимости от преобладающего типа резервуара и уровня антропогенного воздействия [8].

Данные, представленные в таблице 1, указывают на то, что в странах с неконтролируемой ситуацией (Йемен, Сирия) крах государственных институтов привел к резкому росту численности бешенных собак. Эта популяция стала самостоятельным и основным резервуаром вируса, поддерживающим эпизоотию независимо от дикой фауны. В противоположность этому, в Омане, где популяция собак исторически невелика, вирус после заноса закрепился среди диких псовых (лисиц), сформировав устойчивый природный очаг. В этой ситуации человек сталкивается с инфекцией лишь эпизодически. Отдельного внимания заслуживает ситуация, сложившаяся в Саудовской Аравии, где сформировалась двухуровневая система циркуляции вируса: собаки служат основным источником заражения для людей, а верблюды выполняют роль дополнительного резервуара [14]. Благодаря своей высокой мобильности и хозяйственной значимости верблюды могут способствовать распространению вируса на большие расстояния, связывая между собой изолированные очаги среди собак, что значительно усложняет проведение противоэпизоотических мероприятий.

Сравнительная динамика регистрации случаев бешенства по странам Ближнего Востока приведена на рисунке 2.

Динамика, показанная на рисунке 2, наглядно демонстрирует резкий контраст между

Рис. 2. Количество случаев бешенства в странах Ближнего Востока за 2015–2024 гг. (по данным WAHIS6)

Примечание: зеленым выделены страны, официально свободные от бешенства

Fig. 2. Number of rabies cases in Middle Eastern countries for the period 2015–2024 (according to WAHIS data)

Note: Countries officially recognized as rabies-free are highlighted in green



странами с высокой, средней и минимальной регистрацией случаев патологии. На представленной карте четко видна прямая связь между уровнем заболеваемости бешенством и социально-экономической ситуацией в странах региона. При этом резкие различия в показателях между соседними государствами доказывают, что ключевыми факторами являются эффективность национальных систем ветеринарной службы, здравоохранения и общая политическая стабильность. Однако угроза заноса инфекции через границы остается актуальной для всего региона.

Для комплексного решения проблемы рекомендована система мер, направленных на ключевые факторы риска, которые приведены в таблице 2.

⁶ Analytic and Reports, WAHIS, WOAH 2015–2024, <https://wahis.woah.org/#/home>

Таблица 2. Матрица факторов риска и необходимых системных контрмер

Table 2. Matrix of Risk Factors and Required Systemic Control Measures

Категория фактора	Проявление в регионе	Механизм влияния на эпизоотию	Рекомендуемая системная контрмера
Биотические	Высокая плотность популяций бродячих собак	Обеспечение непрерывности цепи передачи; формирование устойчивых природных очагов	Переход от отстрела к программам ОСВВ. Оральная вакцинация диких плотоядных
Социально-экономические	Низкая осведомленность населения, отсутствие компенсаций за убой скота	Позднее обращение за медицинской помощью, сокрытие случаев заболевания животных	Внедрение механизмов страхования ответственности, работа с населением, просветительские программы
Политические	Трансграничная миграция, отсутствие координации между враждующими странами	Формирование «серых зон» эпизоотического мониторинга; экспорт вируса через прозрачные границы	Создание наднациональных буферных зон под эгидой международных организаций (WOAH/FAO), независимых от политической конъюнктуры
Инфраструктурные	Дефицит биопрепаратов	Невозможность своевременной ПЭП, рост летальности	Децентрализация запасов биопрепаратов, создание мобильных ветеринарно-медицинских бригад

Примечание: ОСВВ — Отлов-Стерилизация-Вакцинация-Возврат.

Предлагаемый подход предусматривает адресное воздействие на каждое уязвимое звено эпизоотического процесса.

Проведенный анализ подтверждает, что меры по сокращению численности животных, в частности, отстрел, не только неэффективны, но и могут усугубить ситуацию. Такие действия нарушают структуру популяции, приводя к увеличению рождаемости и миграции, что в конечном итоге может способствовать более активному распространению вируса. В этой связи более эффективной стратегией является внедрение программ ОСВВ (отлов-стерилизация-вакцинация-возврат) и широкое применение оральной вакцинации диких животных. Комплекс данных мер позволяют стабилизировать численность популяции и создать напряженный стадный иммунитет [4, 9, 13].

Социально-экономические факторы также играют важную роль. Несмотря на абсолютную летальность при клинической манифестации бешенства, значительная часть населения в эндемичных регионах не осознает реальных масштабов угрозы. При этом зачастую люди поздно обращаются за медицинской помощью после укусов, пытаются лечить животных самостоятельно или игнорируют необходимость профилактической вакцинации питомцев. Низкая социальная грамотность напрямую способствует поддержанию очагов инфекции и повышает риск смертельных исходов. Также неполная отчетность о случаях бешенства часто связана с отсутствием компенсации для владельцев животных, которые несут экономические потери из-за проведения противоэпизоотических мероприятий. Внедрение механизмов страхования либо компенсации за вынужденный убой могут

повысить мотивацию к своевременному информированию ветеринарной службы, что крайне необходимо для эффективной борьбы [5].

Политическая нестабильность и тлеющие военные конфликты в некоторых странах региона создают «серые зоны», где ветеринарный надзор зачастую отсутствует, и вирус может бесконтрольно циркулировать. В этих условиях ключевое значение приобретает создание трансграничных буферных зон, где противоэпизоотические мероприятия будут координироваться на уровне экосистем, а не административных границ (границы распространения инфекции не совпадают с государственными) [1].

Анализ эффективности стратегий контроля (на примере Израиля и Йемена) приведен в таблице 3.

Показано, что Израильская стратегия основана на трех компонентах: обязательная вакцинация домашних животных и оральная иммунизация диких; доступная ПЭП для людей; эффективный эпидемиологический надзор. Это создает устойчивый «санитарный барьер» между животными и человеком. Успех Израиля доказывает, что ключевой задачей является не уничтожение вируса в природе (что может быть невозможно), а создание непроницаемого эпидемиологического барьера на границе «животное-человек». В Йемене, напротив, меры носят разрозненный характер, отсутствует системная вакцинация, доступ к антирабической помощи ограничен, особенно в сельских районах. Это приводит к стабильно высокой заболеваемости. Наиболее уязвимые группы населения (часто дети) несут основное бремя болезни, что является маркером системного неравенства в доступе к здравоохранению [1, 4, 6, 8].

Таблица 3. Сравнительный анализ эффективности стратегий контроля (на примере Израиля и Йемена)

Table 3. Comparative analysis of control strategy efficacy (case studies of Israel and Yemen)

Параметр сравнения	Израиль («проактивная стратегия»)	Йемен («реактивные меры»)	Вывод
Вакцинация животных	Обязательная ежегодная вакцинация собак + оральная вакцинация диких животных	Случайная, охват менее 20%	Стадный иммунитет в Йемене отсутствует
Лабораторная диагностика	Подтверждение всех подозрительных случаев (50–80 в год)	Фрагментарная, особенно в сельской местности	В Йемене существует «скрытая эпизоотия»
Смертность людей	Один летальный исход с 2003 г. (единичные случаи)	Высокая смертность (десятки/сотни случаев), часто среди детей	Успех определяется наличием системного подхода, а не отсутствием вируса

Проведенный анализ демонстрирует, что ситуация с бешенством на Ближнем Востоке в значительной степени определяется социально-экономическими и политическими факторами. В нестабильных государствах и зонах конфликтов разрушение ветеринарной и медицинской инфраструктуры приводит к формированию неконтролируемых очагов инфекции. Основным резервуаром и источником вируса для человека в таких условиях становятся многочисленные популяции безнадзорных собак. Напротив, в политически стабильных странах с эффективными системами здравоохранения удается контролировать заболевание даже при сохранении природных очагов среди диких животных.

На основании проведенного анализа можно сформулировать три основных направления для улучшения контроля над бешенством в регионе.

1. Адресное воздействие на ключевые факторы риска. Программы борьбы должны быть адаптированы к конкретным условиям каждой территории и воздействовать на все звенья эпизоотической цепи. Основными мерами являются: регулирование численности и вакцинация животных-резервуаров (прежде всего, безнадзорных собак через программы ОСВВ), обеспечение экономической заинтересованности населения в регистрации случаев заболевания и создание гарантированной доступности антирабической помощи для людей (ПЭП) во всех районах, включая отдаленные.

2. Приоритет трансграничного сотрудничества. Поскольку вирус не признает административных границ, эффективный контроль требует согласованных действий между соседними странами. Особое внимание следует уделять созданию совместных буферных зон в приграничных районах для мониторинга и профилактики. Опыт Израиля показывает, что успех внутри страны возможен и при неблагоприятной обстановке у соседей, однако для большинства государств региона кооперация является единственным экономически оправданным решением.

3. Создание многоуровневой системы защиты человека. Стратегической целью является не полная ликвидация вируса в природе (что может быть нереалистично), а формирование надежного барьера, предотвращающего заболевание людей. Этот барьер должен включать контроль над популяциями диких животных, всеобщую доступность своевременной медицинской помощи после укуса и эффективную систему эпидемиологического надзора. Именно такая комплексная система, а не отсутствие вируса, обеспечивает практически нулевую смертность, как это доказано на примере Израиля.

Таким образом, устойчивый успех в борьбе с бешенством на Ближнем Востоке может быть достигнут только в рамках комплексных государственных программ, которые интегрируют ветеринарные, медицинские и социально-экономические меры. Распространение инфекции напрямую зависит от стабильности и эффективности работы институтов власти. Поэтому долгосрочный контроль над болезнью должен быть неотъемлемой частью более широких стратегий социально-экономического развития и укрепления системы здравоохранения в регионе.

Выводы/Conclusions

На Ближнем Востоке распространение бешенства напрямую связано с социально-политической стабильностью. Напротив, в зонах конфликтов и экономической нестабильности формируются неконтролируемые очаги, основным резервуаром в которых являются безнадзорные собаки.

На основе анализа данных предложена типология эпизоотической ситуации в странах региона: антропоургический неконтролируемый (Йемен, Сирия), антропоургический эндемичный (Саудовская Аравия, Иран), природно-очаговый (Оман, Израиль) и изолированный благополучный (государства Персидского залива). Уровень риска для человека коррелирует с типом режима и эффективностью национальных систем контроля.

Показано, что успех в борьбе с бешенством определяется не полным уничтожением вируса в природных резервуарах, а созданием эффективной системы защиты людей. Ключевым примером служит Израиль, где с 2003 года зарегистрирован лишь один смертельный случай (2024 г., у пациента, отказавшегося получить ПЭП после контакта), благодаря сочетанию обязательной вакцинации животных, всеобщей доступности антирабической помощи и строгому эпидемиологическому надзору.

Для стран с неблагоприятной ситуацией разработаны практические рекомендации: переход от отстрела к программам ОСВВ (отлов-стерилизация-вакцинация-возврат) для управления популяциями безнадзорных собак; развитие трансграничного сотрудничества для создания буферных зон и совместного мониторинга; обеспечение доступности вакцин и антирабических препаратов; внедрение экономических стимулов для повышения отчетности о случаях заболевания.

Долгосрочный контроль над бешенством в регионе требует комплексного межведомственного подхода, интегрирующего ветеринарные, медицинские и социально-экономические меры в рамках государственных программ развития и укрепления системы здравоохранения.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Bannazadeh Baghi H., Alinezhad F., Kuzmin I., Rupprecht C.E. A Perspective on Rabies in the Middle East—Beyond Neglect. *Veterinary Sciences*. 2018; 5(3): 67. <https://doi.org/10.3390/vetsci5030067>
2. Al-Eitan L., Alnemri M., Alkhalwaldeh M., Mihyar A. Rodent-borne viruses in the region of Middle East. *Reviews in Medical Virology*. 2023; 33(4): e2440. <https://doi.org/10.1002/rmv.2440>
3. Ali H., Ali A., Al Mawly J., Tohamy H.G., El-Neweshy M.S. Molecular characterization of rabies virus from wild and domestic animals in the Sultanate of Oman. *Zoonoses and Public Health*. 2024; 71(7): 836–843. <https://doi.org/10.1111/zph.13164>
4. Bengoumi M., Mansouri R., Ghram B., Mérot J. Rabies in North Africa and the Middle East: current situation, strategies and outlook. *Scientific & Technical Review*. 2018; 37(2): 505–510. <https://doi.org/10.20506/rst.37.2.2818>
5. Bannazadeh Baghi H., Bazmani A., Aghazadeh M. The fight against rabies: the Middle East needs to step up its game. *The Lancet*. 2016; 388(10054): 1880. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31729-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31729-9)
6. Taylor E. *et al.* Rabies in the Middle East, Eastern Europe, Central Asia and North Africa: Building evidence and delivering a regional approach to rabies elimination. *Journal of Infection and Public Health*. 2021; 14(6): 787–794. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.02.009>
7. Rudenko A., Glamazdin I., Lutsay V., Sysoeva N., Tresnitskiy S., Rudenko P. Parasitocenoses in cattle and their circulation in small farms. *E3S Web of Conferences*. 2022; 363: 03029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236303029>
8. Bannazadeh Baghi H., Rupprecht C.E. Notes on three periods of rabies focus in the Middle East: From progress during the cradle of civilization to neglected current history. *Zoonoses and Public Health*. 2021; 68(7): 697–703. <https://doi.org/10.1111/zph.12781>
9. Aikimbayev A. *et al.* Fighting Rabies in Eastern Europe, the Middle East and Central Asia - Experts Call for a Regional Initiative for Rabies Elimination. *Zoonoses and Public Health*. 2014; 61(3): 219–226. <https://doi.org/10.1111/zph.12060>
10. Heitkamp C., Stelzl D.R., Ramharter M., Bühler S. Rabies exposure in travellers to Asia, the Middle East, Africa, South and Central America—a German Airport study. *Journal of Travel Medicine*. 2020; 27(7): taaa058. <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa058>
11. Ismail M.Z. *et al.* Quantifying and mapping the burden of human and animal rabies in Iraq. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 2020; 14(10): e0008622. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008622>
12. Vatinikov Y. *et al.* Research on the antibacterial and antimycotic effect of the phytopreparation Farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12(S2): 1481–1492. EDN SLZQGC
13. Picot V. *et al.* The Middle East and Eastern Europe rabies Expert Bureau (MEEREB) third meeting: Lyon-France (7–8 April, 2015). *Journal of Infection and Public Health*. 2017; 10(6): 695–701. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2017.03.005>
14. Kasem S. *et al.* Rabies among animals in Saudi Arabia. *Journal of Infection and Public Health*. 2019; 12(3): 445–447. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2018.10.005>
15. Gautret P., Al-Abri S., Al-Rawahi B., Memish Z.A. Human rabies importation to the Middle East: An emerging threat? *International Journal of Infectious Diseases*. 2021; 102: 335–336. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.090>

ОБ АВТОРАХ:

Язид Хатиб

аспирант департамента ветеринарной
медицины
yazidkhatib@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4326-0462>

Павел Анатольевич Руденко

доктор ветеринарных наук, профессор
Департамента ветеринарной медицины
rudenko-pa@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0418-9918>

Юрий Анатольевич Ватников

доктор ветеринарных наук, профессор,
директор департамента ветеринарной медицины
vatnikov-yu@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0036-3402>

Евгений Владимирович Куликов

кандидат биологических наук, доцент
департамента ветеринарной медицины
kulikov-ev@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6936-2163>

Валентина Ивановна Семёнова

кандидат ветеринарных наук, доцент
Департамента ветеринарной медицины
semenova-vi@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1610-1637>

Дмитрий Александрович Гусев

кандидат ветеринарных наук, ассистент
департамента ветеринарной медицины
gusev-dmal@rudn.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9094-4103>

Российский университет дружбы народов имени Патриса
Лумумбы,
ул. им. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Россия

ABOUT THE AUTHORS:

Yazid Khatib

postgraduate student of the Department of Veterinary
Medicine
yazidkhatib@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4326-0462>

Pavel Anatolyevich Rudenko

Doctor of Veterinary Sciences, Professor
of the Department of Veterinary Medicine
rudenko-pa@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0418-9918>

Yuri Anatolyevich Vatinikov

Doctor of Veterinary Sciences, Professor,
Head of the Department of Veterinary Medicine
vatnikov-yu@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0036-3402>

Eugeny Vladimirovich Kulikov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
of the Department of Veterinary Medicine
kulikov-ev@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6936-2163>

Valentina Ivanovna Semenova,

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor
of the Department of Veterinary Medicine
semenova-vi@rudn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1610-1637>

Dmitry Alexandrovich Gusev

Candidate of Veterinary Sciences, Assistant
of the Department of Veterinary Medicine
gusev-dmal@rudn.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9094-4103>

Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia,
6 Miklukho-Maclay st., Moscow, 117198, Russia

УДК 579.62

Краткий научный обзор



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-15-21

Е.А. Завьялова ✉

А.М. Гулюкин

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

✉ aquazeda@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.05.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Завьялова Е.А., Гулюкин А.М.

Эпизоотический гемопоэтический некроз рыб

РЕЗЮМЕ

Аквакультура лососевых, а равно, и иных видов рыб, во всем мире имеет важное экономическое, социальное и политическое значение, обеспечивая продовольственную безопасность жителей. При интенсификации любого сельхозпроизводства неизбежны риски, связанные с развитием в популяции инфекционных заболеваний, поэтому ветеринарный контроль и противоэпизоотическая деятельность осуществляются на постоянной основе в отношении наиболее распространенных и важных из них. Инфекционная патология гидробионтов включает целый ряд заболеваний, ранее не выявлявшихся в нашей стране, но угрожающих российскому рыбоводству в связи с завозом молоди/оплодотворенной икры из-за рубежа, из стран с неблагополучной эпизоотической ситуацией. Одно из таких: эпизоотический гемопоэтический некроз (*epizootic haematopoietic necrosis*, EHN), данный обзор позволит ветеринарам и сотрудникам рыбной отрасли познакомиться с этиологией и эпизоотологией возбудителя, клиническими и патологоанатомическими признаками заболевания, а также мерами дезинфекции и механизмом передачи патогенного начала.

Ключевые слова: лососевые рыбы, эпизоотия, болезни рыб, аквакультура, эпизоотический гемопоэтический некроз рыб

Для цитирования: Завьялова Е.А., Гулюкин А.М. Эпизоотический гемопоэтический некроз рыб. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 15–21.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-15-21>

A brief scientific overview



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-15-21

Elena A. Zavyalova ✉

Alexey M. Gulyukin

Federal Scientific Centre VIEV, Moscow,
Russia

✉ aquazeda@mail.ru

Received by the editorial office: 15.05.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Zavyalova E.A., Gulyukin A.M.

Epizootic hematopoietic necrosis of fish

ABSTRACT

Aquaculture of salmon, as well as other species of fish, has important economic, social and political significance, ensuring the food security of people all over the world. Intensification of any agricultural production inevitably brings risks related to the development of infectious diseases within the population; therefore, veterinary control and anti-epizootic measures are carried out on an ongoing basis for the most common and significant ones. However, the infectious pathology of hydrobionts includes a number of diseases previously not detected in our country, which pose a threat to Russian aquaculture due to the import of juveniles and fertilized caviar from abroad, specifically from countries with poor epizootic status, one of these – *epizootic hematopoietic necrosis* (EHN); this overview provides veterinarians and aquaculture professionals with insights into the pathogen's etiology, epizootiology, clinical and pathological signs, transmission mechanisms, and disinfection protocols.

Key words: salmon fish, epizootic, fish diseases, aquaculture, epizootic hematopoietic necrosis of fish

For citation: Zavyalova E.A., Gulyukin A.M. Epizootic hematopoietic necrosis of fish. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 15–21 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-15-21>

Введение/Introduction

В настоящее время одним из самых развивающихся секторов рыбоводства является форелеводство. Поголовье выращиваемых лососевых рыб в мире представляет собой миллиардные популяции с огромной продуктивностью, что имеет важное экономическое, социальное и даже политическое значение в рамках обеспечения продовольственной безопасности стран. Следовательно, эпизоотии, вызванные распространением возбудителей инфекционной, особенно вирусной природы, зачастую приобретают характер глобальных катастроф. Усилия ветеринарных специалистов, как правило, направлены на контроль, профилактику и эрадикацию важнейших заболеваний [1]. Для лососеводства России таковыми являются инфекционный гемопоэтический некроз (IHN), инфекционный некроз поджелудочной железы (IPN), вирусная геморрагическая септицемия (VHS), инфекционная анемия лосося (ISA). При этом эпизоотология и инфекционная патология рыб не ограничиваются указанными нозологическими единицами, а также разработкой организационных принципов противоэпизоотической деятельности: методов профилактики и борьбы.

Одновременно в аквакультуре существует еще целый ряд заболеваний, ранее не выявлявшихся в нашей стране, но угрожающих российскому рыбоводству в связи завозом биологического материала (молоди, оплодотворенной икры) из-за рубежа, из стран с неблагоприятной эпизоотической ситуацией. Одно из таких — эпизоотический гемопоэтический некроз (EHN). Данный обзор позволит ветеринарам и сотрудникам рыбной отрасли познакомиться с ним поближе.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Литературный поиск осуществлялся без ограничений по срокам публикации, типу научных материалов и языковой принадлежности статей. При этом большинство поисковых запросов формировалось на русском и английском языках.

При подготовке обзора преимущественно использовались научные труды зарубежных исследователей. Анализ литературы включал публикации, изданные в период с 1989 по 2024 гг. включительно.

Поиск потенциально значимых научных работ проводился по ключевым словам с использованием электронных баз данных Scopus, PubMed, eLIBRARY.RU, а также поискового сервиса Google Scholar.

В процессе отбора литературы предпочтение отдавалось публикациям с высоким уровнем цитируемости. Кроме того, был проведен

дополнительный анализ библиографических списков выбранных работ для выявления иных релевантных источников, соответствующих тематике исследования.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Эпизоотический гемопоэтический некроз (*epizootic haematopoietic necrosis*, EHN) — системное заболевание, характеризующееся некрозом печени, селезенки и кроветворных тканей в почках, вызываемое вирусом из рода *Ranavirus* семейства *Iridoviridae* [2]. Помимо рыб, рана-вирусы были выделены от лягушек, саламандр и рептилий в Америке, Европе и Австралии [3–10]. Рана-вирусы имеют крупные (150–180 нм) икосаэдрические вирионы, двухцепочечный геном ДНК (150–170 т.п.н.), который реплицируется в два этапа: основная репликация происходит в ядре, а дополнительная — в цитоплазме клетки-хозяина¹ [11].

С момента выявления заболевания, вызванного вирусом EHN в Австралии в 1986 году, подобные системные некротические иридовирусные синдромы регулярно выявляются у выращиваемой в аквакультуре рыбы самых разных видов: сом (*Ictalurus melas*) во Франции (вирус европейского сома, ECV) [12], сом (*Silurus glanis*) в Германии (вирус европейского сома, ESV) [13, 14], тюрбо (*Scophthalmus maximus*) в Дании [15] и треска (*Gadus morhua*) в Дании (иридиовирус трески, CodV) [4]. EHN, ECV, ESV и CodV имеют общую нуклеотидную идентичность > 98% последовательностей в областях генов RNR-α, DNAPol, RNR-β, РНКазы II и MCP [16].

EHN и ECV дифференцируются с помощью геномного анализа [17–21]. Это позволяет эпидемиологически разделить случаи заболевания рыбы в Австралии (EHN) и Европе (ECV) и сепарировать их от случаев распространения рана-вируса у амфибий.

Другие виды рыб, чувствительные к заражению рана-вирусом, представлены в таблице 1².

Кроме того, имеются данные о положительных результатах полимеразной цепной реакции (ПЦР) без развития клинической картины заболевания у следующих видов: атлантический лосось (*Salmo salar*), пресноводный сом (*Tandanus tandanus*), золотистый окунь (*Macquaria ambigua*), треска Мюррея (*Maccullochella peelii*) и пурпурный пятнистый голец (*Mogurnda adspersa*). В естественной среде заболевание было выявлено только у европейского окуня (*Perca fluviatilis*) и радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в Австралии. Болезнь протекает тяжелее у европейского окуня и у молоди по сравнению со взрослой рыбой [8], при этом

¹ Office International des Epizooties (OIE) — [Электронный ресурс] https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/aahm/current/2.3.02_EHN.pdf

² Office International des Epizooties (OIE) — [Электронный ресурс] https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/aahm/current/2.3.02_EHN.pdf

Таблица 1. Список восприимчивых к заражению EHNV видов рыб

Table 1. List of fish species susceptible to EHNV infection

Семейство	Вид	Общее название
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	Северная щука
Galaxiidae	<i>Galaxias olidus</i>	Горный галаксиас
Ictaluridae	<i>Ameiurus melas</i>	Черный бычок
Melanotaeniidae	<i>Melanotaenia fluviatilis</i>	Радужница речная (пятнистая)
Percidae	<i>Perca fluviatilis</i>	Европейский окунь
	<i>Sander lucioperca</i>	Судак
Percichthyidae	<i>Macquaria australasica</i>	Австралийский окунь
Poeciliidae	<i>Gambusia holbrooki</i>	Гамбузия Холбрука
	<i>Gambusia affinis</i>	Гамбузия обыкновенная
Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Радужная форель
Terapontidae	<i>Bidyanus bidyanus</i>	Серебристый окунь

сведений о заражении более ранних стадий развития (весом до 5 г) рыб не имеется. Органами-мишенями при инфицировании вирусом являются почки, селезенка и печень.

Считается, что в аквакультуре радужной форели EHNV слабо заразен, и долгое время вирус может циркулировать в поголовье, не вызывая патологий, уровень смертности при этом не превышает обычного фоновый уровень: для молодняка весом более 5 г суточная смертность составляла менее 0,2%, а общая смертность — до 4%. Прямое экономическое воздействие в настоящее время невелико из-за низкого уровня смертности, однако восприимчивой может быть радужная форель всех возрастов. К тому же могут существовать различия в восприимчивости между европейскими и австралийскими морфами радужной форели [22], что важно учитывать при закупке рыбопосадочного материала.

У европейского окуня при естественных вспышках наблюдается очень высокий уровень заражения и смертности, что со временем приводит к сокращению популяций диких рыб [23–25]. Исследования, проведенные в разных регионах и экспериментальных условиях, показали восприимчивость вида к EHN [26], при этом восприимчивость среди популяций европейского окуня, обитающих в разных регионах, может различаться [22].

Клинические признаки заболевания сильнее проявляются у сеголеток и молоди, чем у взрослых особей радужной форели и европейского окуня и включают: нарушение равновесия, изменение окраски тела (потемнение), отек жабр. Неграмотная технология ведения хозяйства (слишком высокая плотность выращивания и низкое качество воды) отягощает течение заболевания из-за повреждений кожи, плавников и жабр [27].

При патологоанатомическом вскрытии у зараженных рыб выявляется увеличение почек, селезенки или печени, в которых наблюдаются очаговые поражения от белого до желтого цвета, соответствующие областям некроза [27]. Вирус поражает различные типы клеток, включая гепатоциты,

кроветворные и эндотелиальные клетки в органах.

Эпизоотический гемопозитический некроз за рубежом широко распространен на фермах по разведению радужной форели в результате перевозки зараженной молоди. [28–30]. Низкая смертность от заболевания у радужной форели означает, что активная инфекция часто остается незамеченной в популяции и легко распространяется при торговле рыбой. Данных о вертикальной передаче EHNV через икру в настоящее время нет, так что и протоколов дезинфекции икры не существует. EHNV до сих пор не был выделен из тканей яичников или от племенного поголовья. Ежегодное возобновление заболевания у радужной форели, выращиваемой на фермах, связано с горизонтальным заражением последующих партий рыбы от предыдущих или от диких рыб, обитающих в водоемах. Обнаружение вируса у европейского окуня в далеких друг от друга речных системах и водохранилищах позволяет предположить, что EHNV распространился в результате перемещений живой рыбы [31, 8].

Официально путь передачи патогенного начала неизвестен. В экспериментах европейский окунь и радужная форель восприимчивы к заражению при погружении в воду, в которую вирус попадает из зараженных особей и тушек погибших рыб по мере их разложения [27].

Неправильное содержание радужной форели в аквакультуре, включающее переуплотненные посадки, слабую проточность, загрязнение акватории отходами жизнедеятельности и т.п., способствует развитию заболевания, т.к. повреждения кожи являются воротами для проникновения вируса. Вспышки заболевания наблюдаются при температуре воды от 11 до 20 °C [29, 30]. Инкубационный период после внутрибрюшинной инъекции составляет 3–10 дней при температуре 19–21 °C по сравнению с 14–32 днями при температуре 8–10 °C [25].

Естественные эпизоотии, вызываемые EHNV, поражают молодь и взрослых особей европейского окуня в основном летом [23, 28, 29]. Предполагается, что болезнь у молоди рыб связана с ежегодным появлением большого количества неиммунных молодых рыб и их последующим заражением вирусом во время стайного плавания на мелководье. Возможно, что температура окружающей среды является причиной вспышек, поскольку молодь рыб питается планктоном в теплых мелководных местах, в то время как взрослые особи питаются бентосными беспозвоночными и более крупной добычей в более глубоких и прохладных водах. Экспериментально, инкубационный период составляет от 10 до 28 дней при 12–18 °C или с 10–11 дней при 19–21 °C, взрослые особи окуня были невосприимчивы к инфекции при температурах ниже 12 °C [25].

Заражение EHNV было зарегистрировано на фермах по разведению радужной форели в речных бассейнах в Новом Южном Уэльсе,

Австралия [8]. Эпизоотический гемопозитический некроз является эндемичным для юго-восточной Австралии, с прерывистым распространением и спорадическими вспышками, затрагивающими европейского окуня [31; 8]. В настоящее время, когда аквакультура России испытывает дефицит малька радужной форели и готова закупать его повсеместно, болезнь может распространиться в регионы, где его раньше не было, за счет перевозки зараженной рыбы, а также перемещения инфицированной воды в ходе транспортировки.

Вирус-возбудитель EHN устойчив к высыханию и сохраняет инфекционную активность в течение 97 дней при температуре 15 °C и 300 дней при температуре 4 °C в воде, в замороженных тканях рыб — более 2 лет [24], может сохраняться в течение нескольких лет на рыбоводной ферме в иловых отложениях, а также на растениях и оборудовании.

При дезинфекции чувствителен к 70%-ному этанолу, 200 мг/л гипохлорита натрия или нагреванию до 60 °C в течение 15 минут [24]. Для инактивации ранавируса также могут быть использованы: 150 мг/л хлоргексидина и 200 мг/л пероксимоносульфата калия не менее 1 минуты контакта [2].

В мире ранавирусы признаны патогенами, важными с экономической и экологической точек зрения, поскольку они, как правило, не зависят от вида хозяина и могут приводить к вспышкам с высоким уровнем смертности [29]. Перемещение животных за пределы их первоначального географического ареала приводит к появлению новых хозяев у потенциальных патогенов, облегчает смену хозяина и стимулирует развитие патогена [27]. Импорт живых декоративных рыб в значительной степени является причиной распространения экзотических заболеваний в аквакультуре [32].

Радужная форель обладает низкой восприимчивостью к EHN-инфекции в естественной среде обитания. Имеются сведения о случаях инфицирования молодняка с общей смертностью до 4% при температуре воды 11–20 °C. Инкубационный период после внутрибрюшинной инокуляции составляет 3–10 дней при температуре 19–21 °C по сравнению с 14–32 °C при температуре 8–10 °C. У взрослой зараженной радужной форели не проявлялось клинических признаков до дня смерти, рыба погибала через 3–10 дней после инокуляции только при температуре воды 19–21 °C [33]. Это исследование выявило тот факт, что рыба,

выращенная в климатических условиях Польши, может быть заражена EHN и что вирус циркулирует в аквакультуре Польше и ЕС.

Выводы/Conclusions

Эпизоотический гемопозитический некроз (EHN) представляет собой вирусное заболевание лососевых и окуневых рыб, вызываемое ранавирусом семейства *Iridoviridae*, которое характеризуется системным некрозом кроветворной ткани почек, селезенки и печени. Несмотря на то, что на сегодняшний день официально зарегистрированных случаев EHN на территории Российской Федерации не выявлено, риск заноса возбудителя в отечественную аквакультуру сохраняется в связи с активным импортом живого рыбопосадочного материала (молоди, оплодотворенной икры) из стран с неблагоприятной эпизоотической ситуацией, включая Австралию и ряд государств Европейского союза.

Наиболее восприимчивыми видами являются европейский окунь (*Perca fluviatilis*), у которого болезнь протекает с высокой летальностью, и радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*), для которой характерно субклиническое течение и длительное вирусоносительство, что существенно затрудняет эпизоотологический контроль. При этом наибольшую опасность представляет молодь рыб массой менее 5 граммов.

В целях предотвращения заноса и распространения EHN на территории Российской Федерации рекомендуется включить данное заболевание в перечень нозологических единиц, подлежащих обязательному скринингу при импорте живой рыбы, икры и молоди лососевых и окуневых видов, использовать метод ПЦР в качестве основного диагностического инструмента, проводить регулярный мониторинг в водоемах, прилегающих к рыбноводным хозяйствам, применяющим импортный материал, а также учитывать температурный оптимум репликации вируса (11–20 °C) при планировании противоэпизоотических мероприятий, поскольку именно в этом диапазоне наиболее вероятны клинические вспышки.

В настоящее время отсутствуют достоверные данные о вертикальной передаче EHN через оплодотворенную икру, а естественный механизм передачи окончательно не установлен (предположительно — горизонтальный, через воду и контакт с инфицированными особями), что определяет направления дальнейших исследований.

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

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-2025-0006)

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FGUG-2025-0006)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров В.В. Международное эпизоотическое бюро и Список МЭБ. *Российский ветеринарный журнал*. 2017; (7): 22–26. EDN ZIBDIJ
2. Bryan L.K., Baldwin C.A., Gray M.J., Miller D.L. Efficacy of select disinfectants at inactivating *Ranavirus*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2009; 84: 89–94. <https://doi.org/10.3354/dao02036>
3. Chinchar V.G. *Ranaviruses* (family *Iridoviridae*): emerging cold-blooded killers. *Archives of Virology*. 2002; 147(3): 447–470. <https://doi.org/10.1007/s007050200000>
4. Drury S.E.N., Gough R.E., Calvert I. Detection and isolation of an iridovirus from chameleons (*Chamaeleo quadricornis* and *Chamaeleo hoehnelli*) in the United Kingdom. *Veterinary Record*. 2002; 150(14): 451–452. <https://doi.org/10.1136/vr.150.14.451>
5. Fijan N., Matasin Z., Petrincic Z., Valpotic I., Zwillenberg L.O. Isolation of an iridovirus-like agent from the green frog (*Rana esculenta* L.). *Veterinarski Arhiv*. 1991; 61: 151–158.
6. Hyatt A.D. *et al.* Comparative studies of piscine and amphibian iridoviruses. *Archives of Virology*. 2000; 145(2): 301–331. <https://doi.org/10.1007/s007050050025>
7. Speare R., Smith J.R. An iridovirus-like agent isolated from the ornate burrowing frog *Limnodynastes ornatus* in northern Australia. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1992; 14: 51–57. <https://doi.org/10.3354/dao014051>
8. Whittington R.J., Becker J.A., Dennis M.M. Iridovirus infections in finfish — critical review with emphasis on ranaviruses. *Journal of Fish Diseases*. 2010, 33(2): 95–122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01110.x>
9. Wolf K., Bullock G.L., Dunbar C.E., Quimby M.C. Tadpole Edema Virus: A Viscerotropic Pathogen for Anuran Amphibians. *The Journal of Infectious Diseases*. 1968; 118(3): 253–262. <https://doi.org/10.1093/infdis/118.3.253>
10. Zupanovic Z. *et al.* Isolation and characterisation of iridoviruses from the giant toad *Bufo marinus* in Venezuela. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1998; 33: 1–9. <https://doi.org/10.3354/dao033001>
11. Chinchar G. *et al.* Family Iridoviridae. Virus Taxonomy. Fauquet C.M., Mayo M.A., Maniloff J., Desselberger U., Ball L.A. (eds.). Classification and Nomenclature of Viruses. Eight Report of the International Committee on the Taxonomy of Viruses. *Academic Press*. 2005; 145–161. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-249951-7.50010-9>
12. Pozet F., Morand M., Moussa A., Torhy C., de Kinkelin P. Isolation and preliminary characterization of a pathogenic icosahedral deoxyribovirus from the catfish *Ictalurus melas*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1992; 14: 35–42. <https://doi.org/10.3354/dao014035>
13. Ahne W., Ogawa M., Schlotfeldt H.J. Fish Viruses: Transmission and Pathogenicity of an Icosahedral Cytoplasmic Deoxyribovirus isolated from Sheatfish (*Silurus glanis*). *Journal of Veterinary Medicine, Series B*. 1990; 37(1–10): 187–190. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1990.tb01045.x>
14. Ahne W., Schlotfeldt H.J., Thomsen I. Fish Viruses: Isolation of an Icosahedral Cytoplasmic Deoxyribovirus from Sheatfish (*Silurus glanis*). *Journal of Veterinary Medicine, Series B*. 1989; 36(1–10): 333–336. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1989.tb00611.x>
15. Bloch B., Larsen J.L. An indovirus-like agent associated with systemic infection in cultured turbot *Scophthalmus maximus* fry in Denmark. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1993; 15: 235–240. <https://doi.org/10.3354/dao015235>
16. Ariel E., Holopainen R., Olenen N.J., Tapiovaara H. Comparative study of ranavirus isolates from cod (*Gadus morhua*) and turbot (*Psetta maxima*) with reference to other ranaviruses. *Archives of Virology*. 2010; 155(8): 1261–1271. <https://doi.org/10.1007/s00705-010-0715-z>
17. Ahne W., Bearzotti M., Bremont M., Essbauer S. Comparison of European Systemic Piscine and Amphibian Iridoviruses with Epizootic Haematopoietic Necrosis Virus and Frog Virus 3. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*. 1998; 45(1–10): 373–383. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1998.tb00806.x>

REFERENCES

1. Makarov V.V. World Animal Health Organization (OIE) and OIE-Listed diseases. *Russian veterinary journal*. 2017; (7): 22–26 (in Russian). EDN ZIBDIJ
2. Bryan L.K., Baldwin C.A., Gray M.J., Miller D.L. Efficacy of select disinfectants at inactivating *Ranavirus*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2009; 84: 89–94. <https://doi.org/10.3354/dao02036>
3. Chinchar V.G. *Ranaviruses* (family *Iridoviridae*): emerging cold-blooded killers. *Archives of Virology*. 2002; 147(3): 447–470. <https://doi.org/10.1007/s007050200000>
4. Drury S.E.N., Gough R.E., Calvert I. Detection and isolation of an iridovirus from chameleons (*Chamaeleo quadricornis* and *Chamaeleo hoehnelli*) in the United Kingdom. *Veterinary Record*. 2002; 150(14): 451–452. <https://doi.org/10.1136/vr.150.14.451>
5. Fijan N., Matasin Z., Petrincic Z., Valpotic I., Zwillenberg L.O. Isolation of an iridovirus-like agent from the green frog (*Rana esculenta* L.). *Veterinarski Arhiv*. 1991; 61: 151–158.
6. Hyatt A.D. *et al.* Comparative studies of piscine and amphibian iridoviruses. *Archives of Virology*. 2000; 145(2): 301–331. <https://doi.org/10.1007/s007050050025>
7. Speare R., Smith J.R. An iridovirus-like agent isolated from the ornate burrowing frog *Limnodynastes ornatus* in northern Australia. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1992; 14: 51–57. <https://doi.org/10.3354/dao014051>
8. Whittington R.J., Becker J.A., Dennis M.M. Iridovirus infections in finfish — critical review with emphasis on ranaviruses. *Journal of Fish Diseases*. 2010, 33(2): 95–122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01110.x>
9. Wolf K., Bullock G.L., Dunbar C.E., Quimby M.C. Tadpole Edema Virus: A Viscerotropic Pathogen for Anuran Amphibians. *The Journal of Infectious Diseases*. 1968; 118(3): 253–262. <https://doi.org/10.1093/infdis/118.3.253>
10. Zupanovic Z. *et al.* Isolation and characterisation of iridoviruses from the giant toad *Bufo marinus* in Venezuela. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1998; 33: 1–9. <https://doi.org/10.3354/dao033001>
11. Chinchar G. *et al.* Family Iridoviridae. Virus Taxonomy. Fauquet C.M., Mayo M.A., Maniloff J., Desselberger U., Ball L.A. (eds.). Classification and Nomenclature of Viruses. Eight Report of the International Committee on the Taxonomy of Viruses. *Academic Press*. 2005; 145–161. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-249951-7.50010-9>
12. Pozet F., Morand M., Moussa A., Torhy C., de Kinkelin P. Isolation and preliminary characterization of a pathogenic icosahedral deoxyribovirus from the catfish *Ictalurus melas*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1992; 14: 35–42. <https://doi.org/10.3354/dao014035>
13. Ahne W., Ogawa M., Schlotfeldt H.J. Fish Viruses: Transmission and Pathogenicity of an Icosahedral Cytoplasmic Deoxyribovirus isolated from Sheatfish (*Silurus glanis*). *Journal of Veterinary Medicine, Series B*. 1990; 37(1–10): 187–190. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1990.tb01045.x>
14. Ahne W., Schlotfeldt H.J., Thomsen I. Fish Viruses: Isolation of an Icosahedral Cytoplasmic Deoxyribovirus from Sheatfish (*Silurus glanis*). *Journal of Veterinary Medicine, Series B*. 1989; 36(1–10): 333–336. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1989.tb00611.x>
15. Bloch B., Larsen J.L. An indovirus-like agent associated with systemic infection in cultured turbot *Scophthalmus maximus* fry in Denmark. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1993; 15: 235–240. <https://doi.org/10.3354/dao015235>
16. Ariel E., Holopainen R., Olenen N.J., Tapiovaara H. Comparative study of ranavirus isolates from cod (*Gadus morhua*) and turbot (*Psetta maxima*) with reference to other ranaviruses. *Archives of Virology*. 2010; 155(8): 1261–1271. <https://doi.org/10.1007/s00705-010-0715-z>
17. Ahne W., Bearzotti M., Bremont M., Essbauer S. Comparison of European Systemic Piscine and Amphibian Iridoviruses with Epizootic Haematopoietic Necrosis Virus and Frog Virus 3. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*. 1998; 45(1–10): 373–383. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1998.tb00806.x>

18. Holopainen R., Ohlemeyer S., Schütze H., Bergmann S.M., Tapiovaara H. Ranavirus phylogeny and differentiation based on major capsid protein, DNA polymerase and neurofilament triplet H1-like protein genes. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2009; 85: 81–91. <https://doi.org/10.3354/dao02074>
19. Hyatt A.D. *et al.* First identification of a ranavirus from green pythons (*Chondropython viridis*). *Journal of Wildlife Diseases*. 2002; 38(2): 239–252. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-38.2.239>
20. Mao J., Tham T.N., Gentry G.A., Aubertin A., Chinchar V.G. Cloning, Sequence Analysis, and Expression of the Major Capsid Protein of the Iridovirus Frog Virus 3. *Virology*. 1996; 216(2): 431–436. <https://doi.org/10.1006/viro.1996.0080>
21. Marsh I.B., Whittington R.J., O'Rourke B., Hyatt A.D., Chisholm O. Rapid differentiation of Australian, European and American ranaviruses based on variation in major capsid protein gene sequence. *Molecular and Cellular Probes*. 2002; 16(2): 137–151. <https://doi.org/10.1006/mcpr.2001.0400>
22. Ariel E., Bang Jensen B. Challenge studies of European stocks of redfin perch, *Perca fluviatilis* L., and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), with epizootic haematopoietic necrosis virus. *Journal of Fish Diseases*. 2009; 32(12): 1017–1025. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01088.x>
23. Langdon J.S., Humphrey J.D. Epizootic haematopoietic necrosis, a new viral disease in redfin perch, *Perca fluviatilis* L., in Australia. *Journal of Fish Diseases*. 1987; 10(4): 289–297. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1987.tb01073.x>
24. Langdon J.S. Experimental transmission and pathogenicity of epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) in redfin perch, *Perca fluviatilis* L., and 11 other teleosts. *Journal of Fish Diseases*. 1989; 12(4): 295–310. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1989.tb00318.x>
25. Whittington R., Reddacliff G. Influence of environmental temperature on experimental infection of redfin perch (*Perca fluviatilis*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with epizootic haematopoietic necrosis virus, an Australian iridovirus. *Australian Veterinary Journal*. 1995; 72(11): 421–424. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1995.tb06193.x>
26. Becker J.A., Tweedie A., Gilligan D., Asmus M., Whittington R.J. Susceptibility of Australian Redfin Perch *Perca fluviatilis* Experimentally Challenged with Epizootic Hematopoietic Necrosis Virus (EHNV). *Journal of Aquatic Animal Health*. 2016; 28(2): 122–130. <https://doi.org/10.1080/08997659.2016.1159621>
27. Reddacliff L.A., Whittington R.J. Pathology of epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) and redfin perch (*Perca fluviatilis* L.). *Journal of Comparative Pathology*. 1996; 115(2): 103–115. [https://doi.org/10.1016/s0021-9975\(96\)80033-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9975(96)80033-8)
28. Langdon J.S., Humphrey J.D., Williams L.M., Hyatt A.D., Westbury H.A. First virus isolation from Australian fish: an iridovirus-like pathogen from redfin perch, *Perca fluviatilis* L. *Journal of Fish Diseases*. 1986; 9(3): 263–268. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1986.tb01011.x>
29. Whittington R.J., Philbey A., Reddacliff G.L., Macgown A.R. Epidemiology of epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) infection in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): findings based on virus isolation, antigen capture ELISA and serology. *Journal of Fish Diseases*. 1994; 17(3): 205–218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1994.tb00216.x>
30. Whittington R.J., Reddacliff L.A., Marsh I., Kearns C., Zupanovic Z., Callinan R.B. Further observations on the epidemiology and spread of epizootic haematopoietic necrosis virus <t-3>(EHNV) in farmed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*<t-3> in southeastern Australia and a recommended sampling strategy for surveillance. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1999; 35: 125–130. <https://doi.org/10.3354/dao035125>
31. Becker J.A., Gilligan D., Asmus M., Tweedie A., Whittington R.J. Geographic Distribution of Epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) in Freshwater Fish in South Eastern Australia: Lost Opportunity for a Notifiable Pathogen to Expand Its Geographic Range. *Viruses*. 2019; 11(4): 315. <https://doi.org/10.3390/v11040315>
32. El-Matbouli M., Saleh M., Soliman H. Biosecurity risks associated with epizootic ulcerative syndrome and iridovirus in ornamental fish imported into the European Union. *Veterinary Record*. 2014; 174(12): 303. <https://doi.org/10.1136/vr.102219>
18. Holopainen R., Ohlemeyer S., Schütze H., Bergmann S.M., Tapiovaara H. Ranavirus phylogeny and differentiation based on major capsid protein, DNA polymerase and neurofilament triplet H1-like protein genes. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2009; 85: 81–91. <https://doi.org/10.3354/dao02074>
19. Hyatt A.D. *et al.* First identification of a ranavirus from green pythons (*Chondropython viridis*). *Journal of Wildlife Diseases*. 2002; 38(2): 239–252. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-38.2.239>
20. Mao J., Tham T.N., Gentry G.A., Aubertin A., Chinchar V.G. Cloning, Sequence Analysis, and Expression of the Major Capsid Protein of the Iridovirus Frog Virus 3. *Virology*. 1996; 216(2): 431–436. <https://doi.org/10.1006/viro.1996.0080>
21. Marsh I.B., Whittington R.J., O'Rourke B., Hyatt A.D., Chisholm O. Rapid differentiation of Australian, European and American ranaviruses based on variation in major capsid protein gene sequence. *Molecular and Cellular Probes*. 2002; 16(2): 137–151. <https://doi.org/10.1006/mcpr.2001.0400>
22. Ariel E., Bang Jensen B. Challenge studies of European stocks of redfin perch, *Perca fluviatilis* L., and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), with epizootic haematopoietic necrosis virus. *Journal of Fish Diseases*. 2009; 32(12): 1017–1025. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01088.x>
23. Langdon J.S., Humphrey J.D. Epizootic haematopoietic necrosis, a new viral disease in redfin perch, *Perca fluviatilis* L., in Australia. *Journal of Fish Diseases*. 1987; 10(4): 289–297. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1987.tb01073.x>
24. Langdon J.S. Experimental transmission and pathogenicity of epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) in redfin perch, *Perca fluviatilis* L., and 11 other teleosts. *Journal of Fish Diseases*. 1989; 12(4): 295–310. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1989.tb00318.x>
25. Whittington R., Reddacliff G. Influence of environmental temperature on experimental infection of redfin perch (*Perca fluviatilis*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with epizootic haematopoietic necrosis virus, an Australian iridovirus. *Australian Veterinary Journal*. 1995; 72(11): 421–424. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1995.tb06193.x>
26. Becker J.A., Tweedie A., Gilligan D., Asmus M., Whittington R.J. Susceptibility of Australian Redfin Perch *Perca fluviatilis* Experimentally Challenged with Epizootic Hematopoietic Necrosis Virus (EHNV). *Journal of Aquatic Animal Health*. 2016; 28(2): 122–130. <https://doi.org/10.1080/08997659.2016.1159621>
27. Reddacliff L.A., Whittington R.J. Pathology of epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) and redfin perch (*Perca fluviatilis* L.). *Journal of Comparative Pathology*. 1996; 115(2): 103–115. [https://doi.org/10.1016/s0021-9975\(96\)80033-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9975(96)80033-8)
28. Langdon J.S., Humphrey J.D., Williams L.M., Hyatt A.D., Westbury H.A. First virus isolation from Australian fish: an iridovirus-like pathogen from redfin perch, *Perca fluviatilis* L. *Journal of Fish Diseases*. 1986; 9(3): 263–268. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1986.tb01011.x>
29. Whittington R.J., Philbey A., Reddacliff G.L., Macgown A.R. Epidemiology of epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) infection in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): findings based on virus isolation, antigen capture ELISA and serology. *Journal of Fish Diseases*. 1994; 17(3): 205–218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1994.tb00216.x>
30. Whittington R.J., Reddacliff L.A., Marsh I., Kearns C., Zupanovic Z., Callinan R.B. Further observations on the epidemiology and spread of epizootic haematopoietic necrosis virus <t-3>(EHNV) in farmed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*<t-3> in southeastern Australia and a recommended sampling strategy for surveillance. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1999; 35: 125–130. <https://doi.org/10.3354/dao035125>
31. Becker J.A., Gilligan D., Asmus M., Tweedie A., Whittington R.J. Geographic Distribution of Epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) in Freshwater Fish in South Eastern Australia: Lost Opportunity for a Notifiable Pathogen to Expand Its Geographic Range. *Viruses*. 2019; 11(4): 315. <https://doi.org/10.3390/v11040315>
32. El-Matbouli M., Saleh M., Soliman H. Biosecurity risks associated with epizootic ulcerative syndrome and iridovirus in ornamental fish imported into the European Union. *Veterinary Record*. 2014; 174(12): 303. <https://doi.org/10.1136/vr.102219>

33. Borzym E., Maj-Paluch J. Experimental infection with epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*) and European perch (*Perca fluviatilis* L). *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*. 2015; 59(4): 473–477. <https://doi.org/10.1515/bvip-2015-0070>

ОБ АВТОРАХ

Елена Александровна Завьялова

кандидат биологических наук, заведующая лабораторией
aquazeda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0785-9654>

Алексей Михайлович Гулюкин

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

Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук» (ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН), ул. Рязанский проспект, 24, корпус 1, Москва, 109428, Россия

33. Borzym E., Maj-Paluch J. Experimental infection with epizootic haematopoietic necrosis virus (EHNV) of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*) and European perch (*Perca fluviatilis* L). *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*. 2015; 59(4): 473–477. <https://doi.org/10.1515/bvip-2015-0070>

ABOUT THE AUTHORS

Elena Alexandrovna Zavyalova

Candidate of Biological Sciences, Head of lab. Ichthyopathology
aquazeda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0785-9654>

Alexey Mikhailovich Gulyukin

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

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



VII Федеральный форум по ИТ и цифровизации в АПК SMART AGRO

29.10.2026

отель Лесная Сафмар
г. Москва, ул. Лесная д. 15

1

день

50

спикеров

400

участников

Организатор:



COMNEWS
CONFERENCES

Агропромышленный комплекс (АПК) России – остаётся
одной из самых динамично цифровизирующихся отраслей РФ.

Запущена Единая цифровая платформа (ЕЦП).
Более 40% предприятий используют решения на базе
искусственного интеллекта.

Роботизированные фермы и беспилотные тракторы перестали
быть экзотикой.

подробнее:



Безопасность мяса дикого кабана (*Sus scrofa*): возможные риски (научный обзор, часть 1)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Дикий кабан (*Sus scrofa*) является широко распространенным охотничьим видом и важным источником мясной продукции в ряде регионов мира. Мясо дикого кабана характеризуется высокой пищевой ценностью, повышенным содержанием белка и относительно низкой жирностью, что делает его потенциально привлекательным для потребителей. Однако употребление мяса диких животных связано с рядом биологических, паразитарных и химических рисков, требующих ветеринарного контроля и соблюдения санитарных требований.

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

Результаты. В данном научном обзоре обобщены литературные данные об особенностях качества мяса дикого кабана, факторах, влияющих на его органолептические и технологические свойства, а также рассмотрены основные угрозы его безопасности. Мясо дикого кабана несет риски распространения зоонозных инфекций и паразитарных инвазий, включая трихинеллез, аляриоз и бактериальные инфекции, вызываемые *Salmonella* spp., *E. coli*, *Listeria monocytogenes* и другими микроорганизмами. Данные литературных источников выявили устойчивую тенденцию накопления тяжелых металлов у диких кабанов. В дополнение к тяжелым металлам, было показано, что дикие кабаны накапливают радиоцезий (¹³⁷Cs), с концентрациями, варьирующими от фоновых уровней до экстремальных значений, особенно в регионах, пострадавших от Чернобыльской аварии. Мясо дикого кабана может рассматриваться как ценный пищевой ресурс при условии ветеринарно-санитарной экспертизы и соблюдения правил термической обработки.

Ключевые слова: дикий кабан (*Sus scrofa*), мясо дичи, безопасность мяса, радионуклиды, тяжелые металлы, зоонозные инфекции

Для цитирования: Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Безопасность мяса дикого кабана (*Sus scrofa*): возможные риски (научный обзор, часть 1). *Аграрная наука*. 2026; 407(06): 22–35.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-22-35>

Safety of wild boar (*Sus scrofa*) meat: potential risks (scientific review, part 1)

ABSTRACT

Relevance. Wild boar (*Sus scrofa*) is a widespread game species and an important source of meat in several regions of the world. Wild boar meat is characterized by high nutritional value, high protein content, and relatively low fat content, making it potentially attractive to consumers. However, the consumption of wild animal meat is associated with a number of biological, parasitic, and chemical risks that require veterinary monitoring and compliance with sanitary requirements.

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

Results. This scientific review summarizes the literature on the quality characteristics of wild boar meat, the factors influencing its organoleptic and technological properties, and examines the main safety risks. Wild boar meat carries the risk of zoonotic infections and parasitic infestations, including trichinellosis, alarthritis, and bacterial infections caused by *Salmonella* spp., *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, and other microorganisms. Literature data have revealed a consistent pattern of heavy metal accumulation in wild boar. In addition to heavy metals, wild boar have been shown to accumulate radiocesium (¹³⁷Cs), with concentrations ranging from background levels to extreme values, particularly in regions affected by the Chernobyl accident. Wild boar meat can be considered a valuable food resource, provided that veterinary and sanitary inspections are conducted and heat treatment procedures are followed.

Key words: wild boar (*Sus scrofa*), game meat, meat safety, radionuclides, heavy metals, zoonotic infections

For citation: Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Safety of wild boar (*Sus scrofa*) meat: potential risks (scientific review, part 1). *Agrarian science*. 2026; 407(06): 22–35 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-22-35>

Введение/Introduction

Дикие животные использовались в качестве источника белка на протяжении всей эволюционной истории человека. Мясо диких животных — это альтернатива продукции животноводства. Отсутствие в нем гормональных препаратов и антибиотиков, широко применяемых в промышленном животноводстве, позволяет рассматривать данный продукт не только как источник эссенциальных нутриентов, но и как компонент функционального или специализированного питания, обладающий повышенной биологической ценностью и определенной экзотичностью для потребителя [1–3]. Благодаря своей пищевой ценности, специфическому аромату и вкусу, дичь, включая мясо дикого кабана, пользуется спросом у потребителей во всем мире [4, 5].

Дикий кабан (*Sus scrofa*) — распространенное дикое млекопитающее, принадлежащее к семейству Свиные (*Suidae*), считающееся предком домашних свиней. Естественный ареал обитания кабана простирается от Северной Африки до Швеции и от Португалии до Японии, включая Северную и Южную Америку. Дикий кабан — высокоадаптируемый вид, встречающийся во многих местах обитания — от полупустынь до болот и лесов, обладает огромной репродуктивной способностью [6–11].

Дикий кабан отличается крепким телосложением, мощными конечностями и хорошо развитыми клыками, что обеспечивает ему высокую адаптивность. Вид характеризуется широкой экологической валентностью, занимая разнообразные биотопы — от густых лесных массивов до открытых луговых пространств. Как объект промысла и важный компонент лесных биоценозов, кабан играет значительную роль в функционировании естественных экосистем [7, 9, 10, 12].

История заселения европейской части России кабаном охватывает вторую половину XX века: в 40-е годы вид появился на западе региона, в 50–60-е распространился на северо-запад и в центр, а в 70-е достиг северных и северо-восточных рубежей (Вологодская, Архангельская, Кировская области и др.) [10, 13]. К 1990 году популяция, наращивая численность параллельно с расширением ареала, насчитывала 400 тыс. голов. После спада численности, зафиксированного в 1990-е годы (постсоветский период), в XXI веке наблюдается восстановление и устойчивое увеличение популяционных показателей дикого кабана [13]. В настоящее время в Евразии популяция дикого кабана неуклонно растет [7, 8, 13].

Дикий кабан весьма неприхотлив в пище. При поисках животного корма, корней, корневищ и различных семян он перерывает лесную подстилку и разрывает верхний слой почвы [9, 14]. В хозяйствах, где ведется подкормка кабанов,

содержимое желудков на 90% состоит из ячменя, овса и комбикорма [14].

На севере европейской части России участки зимнего обитания кабанов могут быть в различных биотопах, но в большинстве случаев звери придерживаются густых еловых массивов, смежных с кормовыми станциями [10, 13]. Еловые леса особо любимы дикими кабаном за их укрывные функции [9, 13]. Основными местами кормления служат сельскохозяйственные культуры, а также подкормочные и заболоченные площадки. Основой рациона служат подземные части растений: злаков, ветреницы, крапивы, звездчатки, папоротника, черники, тростника, корни брусники и сосны [9, 13, 14]. Весной освобождение территории от снега вызывает перемещение кабанов с зимних стойбищ на бесснежные биотопы, где они находят разнообразные корма. В пищевом спектре вида в это время доминируют озимые культуры и сорная растительность (крапива, люпин), а также встречаются объекты животного происхождения: мышевидные грызуны и крупные личинки насекомых, в частности куколки майского жука и щелкунов [9, 10, 13, 14].

В течение лета кабаны придерживаются опушек, окраин полей и лесных полян¹. Основу рациона составляет вегетирующая зелень [9, 13, 14]. В осеннее время у кабанов наблюдается гиперфагия, биологическая роль которой заключается в депонировании питательных веществ. Накопление подкожного и внутреннего жира обеспечивает энергетические потребности организма в зимний период [10, 13]. Осенью большинство кабанов кормится на сельскохозяйственных полях [14].

В южных регионах России осенью кабаны переключаются на высокоэнергетические корма, значительно превосходящие по питательности вегетирующие зеленые растения. К таким кормам относятся созревшие и осыпавшиеся желуди, плоды бука, каштана, лещины, а также различные фрукты [10, 13]. В северных регионах страны высококалорийную пищу дикие кабаны находят на сельскохозяйственных угодьях, а также на кормовых полях, создаваемых для подкормки и охоты на диких зверей и птиц в охотничьих хозяйствах. Кабаны предпочитают употреблять овес и горох [9, 13]. Значение лугов как основной летней кормовой станции кабанов снижается осенью почти в 4 раза [13].

Поедание животных кабаном сильно привязано к ареалу обитания и может включать падаль, кротов, куропаток, мышевидных грызунов, лягушек [9, 10, 13, 14]. В летний период от кабана часто гибнут кладки наземно-гнездящихся птиц — водоплавающих, куликов, чаек [14].

В целом, структура питания дикого кабана в северных регионах европейской части России соответствует таковой в остальных частях ареала: преобладают растительные корма. Сезонная

¹ Млекопитающие Печёро-Ильчского заповедника. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 2004; 391–394.

динамика характеризуется повышенным значением сельскохозяйственных культур в осенне-зимний период, а животная составляющая рациона представлена главным образом почвенной мезофауной [10, 13].

Следует отметить положительное значение дикого кабана в лесных и охотничьих угодьях, реализующееся через ряд экосистемных функций, которые заключаются в рыхлении или глубоком перекапывании верхних слоев лесной почвы и смешивании подстилки с минеральным грунтом, а также в поедании некоторых видов вредных лесных насекомых и мелких грызунов. Кроме того, дикий кабан выполняет важную санитарную роль, поедая падаль и больных особей, тем самым снижая риск эпизоотий в охотничьих хозяйствах [15, 16].

Однако растущая популяция дикого кабана и его поведение могут вызывать различные проблемы, особенно с сельским хозяйством. В прошлом дикие кабаны кормились по ночам на опушках лесов, проникая на поля в поисках пищи, а днем оставались в лесных укрытиях. С урбанизацией их поведение изменилось [17]. Обилие пищи вблизи человеческих поселений (садовые участки, мусорные контейнеры, содержащие больше пищевых отходов) и на полях привело к появлению стай, которые проводят большую часть времени вне леса, среди полей зерновых, бобовых и кукурузы [14, 18]. Глобальное потепление, обилие высококалорийной пищи, необдуманная подкормка кабанов в городах, поселках и на туристических маршрутах, отсутствие естественных врагов и увеличивающееся количество пустошей, которые служат идеальными укрытиями, привели к тому, что кабаны перестали бояться человека, а их популяция быстро растет. Поэтому в настоящее время кабанов часто рассматривают как вредителей [7, 17].

Среди наземных инвазивных видов дикий кабан выделяется своей всеядностью и способностью совмещать функции крупного хищника и травоядного животного. Данная трофическая стратегия универсальна и реализуется видом как в исконном, так и в интродуцированном ареалах [17, 19]. Исследователи полагают [20], что дикие кабаны угрожают 672 таксонам в 54 различных странах по всему миру. Большинство этих таксонов занесены в список находящихся под критической угрозой исчезновения или исчезающих, а 14 видов были доведены до вымирания в результате прямого воздействия диких свиней [20]. Экологический и экономический ущерб от дикого кабана выражается в разрушении структуры пахотных земель и деградации естественных биоценозов, сопровождающейся обеднением биоразнообразия [21].

Регулирование популяции дикого кабана затруднено из-за высокой репродуктивной способности и интеллекта этого вида, которые ограничивают эффективность охоты [22].

Кроме того, возросли опасения по поводу передачи заболеваний, что угрожает общественному здоровью и свиноводству во многих странах [23–25]. В период с 2014 по 2020 год вирус африканской чумы свиней (далее по тексту — АЧС) поразил популяции диких кабанов многих европейских стран. Это привело к распространению африканской чумы свиней среди свиней, что создало угрозу уничтожения поголовья [7, 25]. Для России характерна циркуляция вируса АЧС в популяции кабана [25].

Многие европейские страны внедряют программы контроля популяций дикого кабана. Комплексный подход к управлению популяцией дикого кабана должен учитывать влияние биометеорологических, демографических и экологических факторов, а также риск эпидемий, таких как африканская чума свиней, поскольку совокупное воздействие биометеорологических и демографических факторов выше в регионах, пораженных африканской чумой свиней [19]. В России с 1 сентября 2025 г вступили в силу поправки к ветеринарным правилам по борьбе с АЧС². Вместе с этим обновлены правила автоперевозок свиней³.

Несмотря на различные меры по предупреждению распространения АЧС в дикой природе, в последние годы продолжают регистрироваться случаи интродукции вируса АЧС в популяции кабана на ранее свободных от инфекции территориях [25]. Регистрируемые вспышки АЧС на фоне снижения плотности популяции кабана в исследуемых модельных субъектах косвенно подтверждают предположение, что кабаны играют определенную, но не основную роль в распространении вируса АЧС [25–27]. При этом необходимо отметить сильную зависимость результатов от достоверности имеющихся данных о численности популяции кабана [25].

Мясо и субпродукты дичи представляют собой значительный, но слабо используемый природный ресурс [1]. Потребление дичи в наибольшей степени зависит от географического положения и степени урбанизации области [28]. Интенсификация освоения этих ресурсов через развитие рынка охотничьей продукции способна внести вклад в улучшение качества питания [1]. Низкое потребление мяса дичи объясняется его высокой ценой и ограниченной доступностью в розничной торговле, а также изобилием более дешевого мяса сельскохозяйственных животных на рынке [3].

² Приказ МСХ РФ от 14.11.2024 № 690 «О внесении изменений в Ветеринарные правила осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов африканской чумы свиней, утвержденные приказом Минсельхоза России от 28 января 2021 г. № 37»

³ (URL: <https://57.fsvps.gov.ru/news/novye-veterinarnye-pravila-po-borbe-s-achs-i-perevozke-svinej-chto-izmenilos-s-1-sentjabrja-2025-god/?ysclid=mlklwp36x4791864844>)

Несмотря на восприятие дичи как экологически чистого продукта, ее употребление связано с рядом рисков для здоровья человека. Мясо диких животных может быть источником возбудителей зоонозных инфекций и паразитарных заболеваний, а также содержать повышенные концентрации тяжелых металлов и радионуклидов [29, 30].

В связи с вышеизложенным цель данного научного обзора — обобщение и анализ существующих научных данных о биологических, химических и паразитарных угрозах безопасности мяса дикого кабана.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Поиск литературы проводили без ограничений по дате публикации, типу источника и языку исследования. Поиск потенциально релевантных материалов осуществлялся по ключевым словам в электронных базах данных Scopus⁴, eLibrary⁵, PubMed⁶, Google Scholar⁷, Science Direct⁸, доступным нормативно-правовым актам стран и источникам в открытом доступе сети Internet. Поисковая стратегия включала комбинации следующих ключевых слов и их синонимов на русском и английском языках: «дикий кабан», «*Sus scrofa*», «мясо дичи», «безопасность мяса», «радионуклиды», «тяжелые металлы», «зоонозные инфекции», «паразитарные инвазии». Для соединения терминов использовали логические операторы AND и OR.

Критерии включения публикаций в обзор:

- оригинальные исследования или систематические обзоры, содержащие количественные данные о безопасности мяса дикого кабана;
- исследования *in vivo* на диких кабанах (не на домашних свиньях);
- наличие данных о содержании контаминантов (тяжелые металлы (токсичные элементы), радионуклиды, хлорированные углеводороды, микропластик) или о наличии возбудителей инфекционных/паразитарных болезней.

Критерии исключения:

- тезисы конференций, не опубликованные в виде полнотекстовых статей;
- статьи, в которых не указаны методы анализа и/или единицы измерения. Дополнительно изучали списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных источников информации.

Процесс отбора осуществляли в два этапа. На первом этапе проводили скрининг заголовков и аннотаций, на втором — полный текст потенциально подходящих статей. Дубликаты удаляли. Точное количество найденных, отобранных и включенных публикаций не подсчитывали ввиду нарративного характера обзора. Из каждой

включенной публикации извлекали следующие данные: географический регион отбора проб, количество особей, тип ткани (мышцы, печень, почки и др.), возрастную группу (если указана), методы аналитического определения контаминантов или возбудителей, средние концентрации или частоту обнаружения, а также информацию о превышении допустимых уровней согласно национальным или международным нормативам.

Синтез данных проводили нарративно — по тематическим разделам (токсичные элементы, радионуклиды, инфекции, паразиты, хлорированные углеводороды, микропластик) с обобщением диапазонов, средних значений и доли проб с превышением нормативов. Качество источников специально не оценивали, однако предпочтение отдавали публикациям в рецензируемых журналах с импакт-фактором.

Данные были проанализированы, чтобы оценить и систематизировать сведения о безопасности и потенциальных рисках, связанных с употреблением мяса дикого кабана (*Sus scrofa*).

Научный обзор разделен на 2 части. Первая часть посвящена особенностям мяса и нормативно-правовой базе его регулирования, а также некоторым аспектам безопасности мяса (токсичные элементы и радионуклиды). Вторая — инфекционным и паразитарным рискам, содержанию хлорированных углеводородов и микропластика (таблица 1).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Часть 1.

Правовые особенности и безопасность мяса кабана

Дикий кабан не является охраняемым видом на большей части своего ареала обитания и рассматривается как охотничий ресурс. Его мясо разрешено к употреблению в большинстве стран

Таблица 1. Структура научного обзора «Безопасность мяса дикого кабана (*Sus scrofa*): возможные риски»

Table 1. Structure of the scientific review «Safety of wild boar (*Sus scrofa*) meat: potential risks»

Номер части	Наименование раздела научного обзора	примечание
1	1. Правовые особенности и безопасность мяса кабана	–
	2. Особенности мяса дикого кабана	
	3. Тяжелые металлы (токсичные элементы) в мясе дикого кабана	
	4. Содержание радионуклидов в мясе дикого кабана	
2	5. Инфекционные и паразитарные риски	Часть 2 будет опубликована в следующем номере журнала «Аграрная наука»
	6. Содержание хлорированных углеводородов в мясе дикого кабана	
	7. Загрязнение микропластиком	

⁴ (URL: <https://www.elsevier.com/products/scopus>)

⁵ (URL: <https://elibrary.ru>)

⁶ (URL: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

⁷ (URL: <https://scholar.google.com>)

⁸ (URL: <https://www.sciencedirect.com>)

мира [6, 10]. В России основными законами, регулирующими добычу дикого кабана, являются Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»⁹ и Приказ Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты»¹⁰. Согласно приказу Минприроды России от 17.05.2010 № 164 «Об утверждении перечня видов охотничьих ресурсов, добыча которых осуществляется в соответствии с лимитами их добычи»¹¹ дикий кабан исключен из перечня видов, подлежащих контролю. Отстрел диких кабанов с целью депопуляции означает, что

добывается больше мяса, что должно привести к увеличению его потребления.

Кодекс Алиментариус¹² устанавливает международные стандарты безопасности мяса диких животных, включая:

- обязательный послеубойный осмотр туш;
- исследование на *Trichinella* spp.;
- соблюдение температурного режима и гигиенических требований при первичной переработке;
- прослеживаемость продукции.

В отношении мяса дикого кабана в разных странах существует ряд нормативно-правовых актов (таблица 2).

Таблица 2. Нормативно-правовая документация некоторых стран, регламентирующая обращение с мясом дикого кабана

Table 2. Regulatory documents of some countries governing the handling of wild boar meat

Категория требований	Нормативный документ	Ключевые положения
Статус диких животных как объекта экспертизы	Закон РФ от 14.05.1993 № 4979-1 ¹³	Мясо, мясные и другие продукты убой животных, иная продукция животного происхождения подлежат ветеринарно-санитарной экспертизе для определения пригодности к использованию на пищевые цели.
Обязательность проведения экспертизы	ТР ТС 021/2011 ¹⁴	Непереработанная пищевая продукция животного происхождения подлежит ветеринарно-санитарной экспертизе. Запрещаются реализация и использование для пищевых целей продукции, не подвергнутой экспертизе в установленном порядке. Определены предельно допустимые уровни для тяжелых металлов, радионуклидов, микробиологических показателей.
Порядок проведения экспертизы	Приказ Минсельхоза России от 28 апреля 2022 г. № 269 ¹⁵	Устанавливает единый порядок проведения ветеринарно-санитарной экспертизы для всех видов животных, включая промысловых.
Особенности экспертизы промысловых животных	Приказ Минсельхоза России от 28 апреля 2022 г. № 269 ¹⁵	Специфика экспертизы продукции промысловых диких животных обусловлена невозможностью проведения предубойного осмотра, что повышает значение послеубойного исследования туш и внутренних органов, а также лабораторного контроля.
Технический регламент	ТР ТС 034/2013 ¹⁶	Регламентирует требования к процессам производства, хранения, транспортировки и реализации мяса и мясной продукции, включая продукты убой промысловых животных.
Страны ЕС		
Базовый регламент	Regulation (EC) No 853/2004 ¹⁷	Устанавливает общие и специальные гигиенические правила для продуктов животного происхождения. Определяет дикого кабана как «крупную дичь» (large wild game) и предъявляет требования к его переработке
Правила и первичного осмотра		Сразу после отстрела охотник обязан провести осмотр туши и внутренностей на предмет отклонений, указывающих на риски для здоровья
Обязательная экспертиза на трихинеллез	Commission Implementing Regulation (EU) 2015/1375 ¹⁸	Голова (кроме клыков) и диафрагма должны сопровождать тушу на предприятие по переработке дичи для обязательного лабораторного исследования
США		
Статус диких животных как объекта экспертизы	Federal Meat Inspection Act (FMIA) ¹⁹	Дикий кабан (как и олени, бизоны, кролики) не включен в перечень «поднадзорных» (non-amenable) видов в FMIA. Это означает, что федеральная обязательная инспекция USDA FSIS на него не распространяется
Обязательность проведения экспертизы	State Wildlife Agencies ²⁰	Мясо дикого кабана, добытого на охоте для личного употребления, не подлежит федеральной инспекции. Продажа такого мяса запрещена. Оно регулируется правилами штата (департаментом рыб и дичи)
	USDA APHIS / State Authorities ²¹	При вспышках опасных болезней (например АЧС) действуют чрезвычайные положения. USDA APHIS может вводить карантин и ограничения на перемещение туш для предотвращения распространения заболевания

⁹ Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

¹⁰ Приказ Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты»

¹¹ Приказ Минприроды России от 17.05.2010 № 164 «Об утверждении перечня видов охотничьих ресурсов, добыча которых осуществляется в соответствии с лимитами их добычи»

¹² Code of Hygienic Practice for Game (CAC/RCP 74-2018)

¹³ Закон РФ от 14.05.1993 N 4979-1 (ред. от 29.12.2025) «О ветеринарии»

¹⁴ ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции»

¹⁵ Приказ Минсельхоза России от 28 апреля 2022 г. № 269 «Об утверждении Ветеринарных правил убой животных и Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и продуктов убой (промысла) животных, предназначенных для переработки и (или) реализации»

¹⁶ ТР ТС 034/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции»

¹⁷ Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin OJ L 139. 2004; 55–205 (URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/853/oj/eng>)

¹⁸ Commission Implementing Regulation (EU) 2015/1375 of 10 August 2015 laying down specific rules on official controls for *Trichinella* in meat (codification) (Text with EEA relevance)

OJ L 212. 2015; 7–34. (URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2015/1375/oj/eng)

¹⁹ (URL: <https://www.fsis.usda.gov/policy/food-safety-acts/federal-meat-inspection-act>)

²⁰ (URL: <https://icwdm.org/training/resources/agencies/state-agencies/>)

²¹ (URL: <https://www.aphis.usda.gov/>)

(Таблица 2. Продолжение)

Категория требований	Нормативный документ	Ключевые положения
Канада		
Базовый регламент	Safe Food for Canadians Act (SFCA) ²²	Закон о безопасности пищевых продуктов. Устанавливает единые требования к безопасности пищевых продуктов, включая обязательную лицензирование импортеров и прослеживаемость.
Статус диких животных как объекта экспертизы	Provincial Hunting Regulations / CFIA ²³	Мясо дикого кабана, добытого в ходе охоты для личного потребления, не подпадает под действие федеральных правил SFCA (так как не поступает в торговлю). Однако на него распространяются провинциальные охотничьи правила и общие требования санитарии. Провинции и территории могут вводить ограничения на охоту с целью контроля популяции, учитывая, что дикие кабаны считаются инвазивным видом
Обязательность проведения экспертизы		

В странах, где разрешена продажа мяса промыслового животного (США, Канада, Страны ЕС) прослеживается разделение «для себя» и «на продажу». Если охотник добыл кабана для личных целей к нему применяются только охотничьи правила (сезон, лицензии, требования к транспортировке). Иначе на него накладывается дополнительный ряд требований (ограничения на транспортировку, экспорт и импорт)^{24, 25}.

В Китае установлен полный запрет на употребление мяса диких животных, включая дикого кабана. Употреблять в пищу и продавать можно только тех кабанов (или их гибридов), которые официально зарегистрированы как сельскохозяйственные животные^{26, 27}.

Особенности мяса дикого кабана

Качество мяса дикого кабана будет варьироваться, особенно в отношении таких органолептических характеристик, как цвет, вкус, запах и консистенция, поскольку рацион животных сильно различается в зависимости от региона их обитания и в течение года (из-за различных доступных источников корма в зависимости от сезона) [6, 31]. Например, после осеннего брачного сезона жирное мясо встречается редко [4]. Кроме того, структура и текстура мышц дикого кабана зависят от возраста и массы тела, а также от используемых методов охоты [5, 32, 33]. У взрослых кабанов может развиваться «кабаний запах» — неприятный запах, вызванный андростеноном, скатолом и другими соединениями [34].

В таблице 3 представлена сравнительная оценка пищевой ценности мяса свиньи и дикого кабана [2, 9, 10, 35, 36].

Согласно представленным в таблице данным, мясо дикого кабана характеризуется более выраженными диетическими свойствами по сравнению с продукцией домашнего свиноводства. Превосходство обусловлено более высоким содержанием белка, что является следствием естественных условий обитания и повышенной двигательной активности животных, способствующей

Таблица 3. Сравнительная характеристика пищевой ценности мяса свиньи и дикого кабана (в среднем на 100 г продукта)

Table 3. Comparative characteristics of the nutritional value of pork and wild boar meat (on average, per 100 g of product)

Показатель	Свинина	Мясо кабана
Белки (г)	16,30	21,23
Жиры (г)	31,30	3,33
Вода (г)	51,49	72,54
Минеральные вещества (г)	0,9	0,97
Холестерин (мг)	126	85–90
Средняя калорийность (кКал)	320–380	122

развитию мышечной ткани. Кроме того, для мяса кабана характерна низкая жирность и более низкое содержание холестерина [2, 35, 36].

Исследователями [37] установлено, что значения pH в полуперепончатой мышце диких кабанов варьируют в пределах 5,45–5,88. Авторы также отмечают отсутствие статистически значимых различий между самцами и самками. Исследования дикого кабана в Швеции показали [31], что pH мяса дикого кабана был значительно выше, чем у домашней свиньи, и варьировался от 5,55 до 5,87, со средним значением pH 5,70 и 5,64 для кабанов и свиноматок соответственно. Значение pH мяса домашней свиньи колебалось от 5,48 до 5,52 со средним значением pH 5,50. Различий в pH мяса самцов и самок диких кабанов не наблюдалось. Более высокий уровень pH мяса дикого кабана может сократить срок его хранения из-за риска более быстрого роста микроорганизмов [31].

В таблице 4 приведены результаты ветеринарно-санитарных экспертиз мяса свиньи и дикого кабана²⁸ [31, 38].

Можно сделать вывод о том, что мясо домашних свиней имеет гораздо более светлый и розоватый цвет по сравнению с мясом дикого кабана. Для мяса дикого кабана характерны видоспецифические признаки: грубоволокнистая структура, плотная консистенция и типичный для диких животных запах, что определяет его особые вкусовые свойства²⁸ [9, 31, 38].

²² (URL: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/s-1.1/index.html>)

²³ (URL: <https://inspection.canada.ca/en/importing-food-plants-animals/e-commerce/animals>)

²⁴ (URL: <https://www.food.gov.uk/our-work/guidance-for-primary-producers-and-food-business-operators-on-the-hygienic-production-of-wild-game>)

²⁵ (URL: <https://www.foraged.com/blog/can-you-sell-wild-boar-meat-a-complete-guide-and-best-practices?srsltid=AfmBOoQttq3vziVFtPzgsF3TjINadJSDYQ2vEGkOnCfthvysgYaDUMjJ>)

²⁶ (URL: <https://nyncj.beijing.gov.cn/nyj/zwgk/zcgk/qtcwj90/436435540/index.html>)

²⁷ (URL: <http://jxjxzf.gov.cn/jaxrmzf/zcwj86/202006/74427cde722f40aaac32426757613938.shtml>)

²⁸ Короблев А.А., Савостина Т.В. Сравнительная ветеринарно-санитарная оценка мяса дикого кабана и свинины. Научный электронный архив. <http://econf.rae.ru/article/10544>

Таблица 4. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса свиньи и дикого кабана

Table 4. Veterinary and sanitary examination of pork and wild boar meat

Показатель	Норма ²⁹	Результаты исследований мяса	
		свинина	дикий кабан
Внешний вид	имеются группы мышц светлой и темной окраски	имеются группы мышц светлой окраски	группы мышц темно-красной окраски
Цвет мышечной ткани	бледно-розовый, серо-розовый, бледно-красный	бледно-розовый	темно-красное
Цвет жировой ткани	белый, бледно-розовый	бледно-розовый	белый
Запах мышечной ткани	специфический для свинины	специфический для свинины	специфический для дикого мяса кабана
Запах жировой ткани	специфический для свиного жира	специфический для свиного жира	специфический для дикого мяса кабана
Консистенция мышечной ткани	нежная	нежная	плотная
Консистенция жировой ткани	мягкая, мажущаяся	мягкая, мажущаяся	рыхлая
Длина мышечного волокна	длинные	длинные	короткие
Толщина мышечного волокна	тонкие	тонкие	толстые
Зернистость	мелкозернистая	мелкозернистая	крупнозернистая
Волокнистость	хорошо выраженная	хорошо выраженная	хорошо выраженная

Низкая температура плавления жиров определяет высокую усвояемость мяса дикого кабана, а низкое содержание холестерина — его высокую потребительскую ценность. Характерно более высокое содержание влаги (до 75%) по сравнению со свининой (около 50%), что закономерно связано с меньшей жирностью мяса диких особей [36].

По сравнению с домашними свиньями, у диких кабанов наблюдается более высокая степень упитанности туш и большая площадь поясничной мышцы, больше медленно-сокращающихся окислительных (I) и быстросокращающихся окислительно-гликолитических (IIA) волокон, мясо темнее, менее нежное и более постное [6, 7, 39].

Исследование [4] показало, что водоудерживающая способность полуперепончатой мышцы из туш дикого кабана наименьшей массы была значительно ($P \leq 0,01$) ниже по сравнению с тушами большей массы. Наблюдались значительные различия ($P \leq 0,01$) в силе сдвига поясничной мышцы между разными по размеру тушами дикого кабана. Мышцы, полученные из туш большей массы, демонстрируют более высокие значения по данному параметру. Туши большей массы характеризовались более темным цветом, что являлось результатом более высокой концентрации миоглобина. Концентрация белка увеличивалась с увеличением массы туши. Аналогичное влияние массы туши на содержание внутримышечного жира было обнаружено.

Можно сделать вывод о том, что мясо дикого кабана является ценным питательным продуктом [2, 3, 31, 39, 40]. Мясо дикого кабана пригодно для переработки и используется в производстве копченостей (ветчины, филе), колбас (сыровяленых, полусухих, средне- и тонкоизмельченных, вареных), а также субпродуктовых колбас, паштетов и консервов [3, 41, 42].

Безопасность мяса дикого кабана

В соответствии со статьей 30 ТР ТС 021/2011 переработанная пищевая продукция животного происхождения подлежит ветеринарно-санитарной экспертизе, а переработанная — процедуре декларирования соответствия¹⁴.

Мясо дикого кабана имеет потенциальные риски, связанные с наличием тяжелых металлов и пестицидов [43, 44].

Тяжелые металлы (токсичные элементы) в мясе дикого кабана

Исследования [45] показали высокую изменчивость по содержанию токсикантов в разных органах. С возрастом обычно связано увеличение накопления поллютантов в теле животных. Но независимо от возраста, обнаружена высокая вариабельность по загрязненности разных особей тяжелыми металлами Pb, Cd, Co, Se.

Согласно многочисленным данным исследований содержания тяжелых металлов в мясе, почках и печени дикого кабана в странах Европы [46–64], во многих случаях средние концентрации Cd и Hg в почках и Pb в мышечной ткани превышали максимально допустимые значения, установленные для животных, предназначенных для употребления в пищу человеком, в соответствии со стандартами безопасности пищевых продуктов ЕС. Накопление свинца и кадмия в мышцах и печени диких кабанов увеличивается с возрастом [65]. Bakowska *et al.* [66] также обнаружили самые высокие концентрации Cd у кабанов, добытых в северных и южных регионах Польши. Sammilleri *et al.* [67] обнаружили более высокое содержание следовых металлов и металлоидов у диких кабанов из промышленных регионов Италии. Исследователи [47] обнаружили присутствие тяжелых металлов (Cd, Hg и Pb) и металлоида As в образцах мяса и субпродуктов из всех исследованных локаций в Природном парке Папук (Хорватия). Поскольку территория

²⁹ Хозяев В.И. Товароведение мяса боровой дичи, диких животных и нетрадиционного мясного сырья: Учебное пособие. М.: Маркетинг, 2002; 236 с.

парка необитаема и там нет промышленности и дорог, повышенные концентрации металлов в тканях дикого кабана не могут быть связаны с антропогенным влиянием.

Наибольшую проблему представляет контаминация мышечной ткани свинцом: в ряде стран (Венгрия, Хорватия, Италия, Польша) зафиксировано превышение максимально допустимых уровней ЕС. Эти повышенные уровни Pb часто объясняются не только воздействием окружающей среды, но и вторичным загрязнением, вызванным фрагментацией свинцовых боеприпасов во время охоты. Свинцовая дробь/фрагменты пули в мясе — это механическое загрязнение, которое не зависит от возраста животного, но создает высокие локальные концентрации в раневой зоне, опасные для потребителя, что требует отдельного обсуждения и рекомендаций по разделке туш (удаление зон вокруг раневого канала).

Уровни Cd приближались к нормативным порогам или превышали их. Мышьяк и ртуть обычно обнаруживались в более низких концентрациях или были ниже пределов обнаружения в мышечной ткани, хотя о спорадических повышенных значениях сообщалось даже в районах, считающихся экологически чистыми [7, 46, 48–52].

Установлено, что почки дикого кабана выступают главным аккумулирующим органом для кадмия и ртути, что делает их критическим биомаркером долговременного воздействия. В Польше, Словакии, Испании, Швеции и Турции содержание кадмия в почках было значительно выше, чем в печени или мышцах, и часто превышало санитарно-гигиенические нормативы для субпродуктов. Ртуть также часто обнаруживалась в почках, хотя ее концентрации демонстрировали значительную межрегиональную вариабельность. Эти данные указывают на хроническое воздействие на диких кабанов загрязнителей окружающей среды, отражающее как естественный геохимический фон, так и диффузные источники загрязнения [7, 48, 51, 53, 56, 60–64].

Ткань печени демонстрировала промежуточные паттерны накопления, причем кадмий и свинец были доминирующими загрязнителями. Особенно высокие концентрации Cd и Pb были зарегистрированы в Польше, Италии, Испании и Турции, причем некоторые значения превышали 1000 мкг/л. Хотя печень играет центральную роль в детоксикации, ее загрязненность дополнительно подчеркивает потенциальные риски для здоровья, связанные с потреблением субпродуктов дикого кабана. Результаты исследования подтверждают, что загрязнение тяжелыми металлами и мышьяком является распространенным явлением в популяциях дикого кабана по всей Европе, варьируя в зависимости от возраста животных, особенностей их питания, экологических факторов региона и принятых охотничьих практик. В связи с этим

обязательным условием обеспечения безопасности охотничьей продукции (мяса и субпродуктов) является организация регулярного мониторинга [7, 48, 51, 55, 57, 58] и проведения процедур оценки рисков [60, 61, 63, 64, 68].

Исследования [69] выявили, что у молодых диких кабанов наблюдались значительно более высокие уровни Cu, Se, Cd и Cr, в то время как у более старых особей отмечались повышенные уровни Mn, что отражает возрастные изменения в усвоении элементов. При сравнении диких кабанов со свиньями было обнаружено, что у диких кабанов больше неэссенциальных элементов из-за особенностей их кормового поведения и большей площади ареала обитания.

Результаты исследования мяса дикого кабана в Вологодской области показали, что мясо и субпродукты могут являться источником поступления ртути в организм человека. Средняя концентрация ртути в мышцах кабана Вологодской области (0,044 мг/кг) на порядок выше, чем в Хорватии (0,009 мг/кг) и в Польше (0,005 мг/кг). Средняя концентрация ртути в печени кабана Вологодской области (0,023 мг/кг) сопоставима с данными по Хорватии (0,053 мг/кг) и Польше (0,016 мг/кг) [70–72].

Проведенными исследованиями мышечных тканей задних конечностей диких кабанов, добытых в охотничьих хозяйствах Новгородской области, установлено содержание в мышечной ткани кабанов свинца, превышающее ПДК в 3–4 раза, и цинка — в 4–6 раз. Что касается загрязнения охотничьей продукции кадмием и медью, содержание этих элементов было значительно ниже предельно допустимой нормы, а концентрация кадмия находилась на фоновом уровне [73].

Содержание радионуклидов в мясе дикого кабана

Употребление в пищу мяса диких животных, загрязненного радионуклидами, вносит дополнительный вклад в суммарную дозу облучения населения, тем самым повышая радиационные риски. В наибольшей степени данная проблема актуальна для охотников и членов их семей [74].

Накопление цезия-137 у промысловых видов активно изучалось в мире после Чернобыльской катастрофы.

После выпадения радиоцезия они остаются в окружающей среде в течение длительного времени и непрерывно поступают в пищевые цепи, промысловые виды особенно восприимчивы к накоплению цезия-137 [7]. Концентрация цезия-137 в разных частях пищевой цепи, в первую очередь, зависит от уровня загрязнения территории, но некоторые растения (мхи, лишайники и грибы) и животные накапливают цезий-137 по-разному, таким образом, выступая в качестве биоиндикаторов [74].

Цезий-137 контролируется в пищевых продуктах для выявления загрязнения пищевых

цепей и как потенциальный риск для здоровья человека [75]. Предел в 600 (Бк/кг) (л) для суммы цезия-137 и цезия-134 в пищевых продуктах является нормативным предельным уровнем, используемым некоторыми странами Европы³⁰. В России предельной нормой цезия-137 для мяса диких животных является 300 (Бк/кг) (л), а наличие стронция-90 не допускается¹⁴.

Радиоактивный цезий-137 накапливается в мышечной ткани животных, во внутренних органах, почках, легких, печени и сердце [76].

Дикие кабаны известны способностью накапливать высокие уровни загрязнения цезия-137 в своем мясе [7]. Kouba *et al.* [75], исследуя активность цезия-137 в мясе диких кабанов Чехии, обнаружили, что допустимый уровень цезия-137 был превышен в 238 образцах (36,4%) мяса добытых диких кабанов. Czerski *et al.* [77] обнаружили в три раза более высокие концентрации цезия-137 в мышцах диких кабанов, чем у косуль и благородных оленей, добытых в Польше в период с 2015 по 2022 год. Наивысшая концентрация цезия-137 в мышцах дикого кабана, добытого в 2021 году, составила $4195 \pm 372,0$ Бк/кг. Группа ученых [78], исследуя активность цезия-137 в образцах мяса диких животных, добытых в районах на юго-западной Польши, обнаружила, что активность цезия-137 колебалась от 0,14 до 592 Бк/кг.

Согласно исследованиям [79, 80], радиоцезий попадает в мышцы диких кабанов через поедание гриба *Elaphomyces granulatus*.

Таким образом, содержание радионуклидов в мясе диких кабанов нестабильно и колеблется в зависимости от региона. Во многих регионах восточной Европы такое мясо может представлять опасность.

Выводы/Conclusions

Мясо дикого кабана отличается высокой пищевой ценностью (21% белка, низкая жирность) и может рассматриваться как диетический продукт, однако его органолептические и технологические свойства сильно варьируются в зависимости от возраста, пола, рациона и региона обитания.

В России и ряде европейских стран мясо дикого кабана может содержать превышения допустимых уровней кадмия, свинца и ртути, особенно в почках и печени, что требует обязательного лабораторного контроля.

Наибольшую опасность представляет свинцовое загрязнение, связанное не только с антропогенным фоном, но и с фрагментацией свинцовых боеприпасов. Рекомендовано удаление зон раневого канала при разделке туш.

Содержание радиоцезия (^{137}Cs) в мясе дикого кабана в регионах, пострадавших от Чернобыльской аварии, может достигать значений, многократно превышающих российские (300 Бк/кг) и европейские (600 Бк/кг) нормативы. Обязателен радиологический мониторинг.

Нормативно-правовая база Российской Федерации (ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013, приказы Минсельхоза) устанавливает обязательную ветеринарно-санитарную экспертизу мяса дикого кабана, однако в ряде стран (США, Канада) мясо для личного потребления не подлежит федеральному контролю, что создает дополнительные риски.

Во второй части обзора проанализированы другие возможные аспекты безопасности мяса дикого кабана: инфекционные и паразитарные риски, содержание хлорированных углеводов и микропластика.

Часть 2 научного обзора будет опубликована в следующем номере журнала «Аграрная наука».

³⁰ Council Regulation (EC) No 1048/2009 of 23 October 2009 amending Regulation (EC) No 733/2008 on the conditions governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power station <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1048>

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Научный обзор подготовлен в рамках выполнения исследований по государственному заданию Научно-исследовательских работ № FGUS-2024-0002 Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук.

FUNDING

This scientific review was prepared as part of the research carried out under the state assignment for scientific research work No. FGUS-2024-0002 of the V.M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калинина С.Н., Илюха В.А., Панченко Д.В., Зайцева И.А. Оценка потребления дичи при исследовании промысла охотничьих видов в Республике Карелия. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2024; (7): 139–145. EDN GFEVBY
2. Царегородцева Е.В., Кабанова Т.В. Экспертиза мяса домашних и диких животных. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2018; 4(3): 77–84. EDN YLBJML

REFERENCES

1. Kalina S.N., Ilyukha V.A., Panchenko D.V., Zaitseva I.A. Estimating wild game consumption within the study of hunting in the Republic of Karelia. *Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2024; (7): 139–145 (in Russian). EDN GFEVBY
2. Tsaregorodtseva E.V., Kabanova T.V. Examination of meat of domestic and wild animals. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2018; 4(3): 77–84 (in Russian). EDN YLBJML

3. Цикин С.С., Сучкова Т.Н., Андреева Л.А., Корниенко Н.Н. Мясо дикого кабана и пятнистого оленя как высокоценный источник мясного сырья. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2016; (1): 20–24. EDN VMHVOT
4. Kasprzyk A., Stadnik J., Stasiak D. Technological and nutritional properties of meat from female wild boars (*Sus scrofa scrofa* L.) of different carcass weights. *Archives Animal Breeding*. 2019; 62(2): 597–604. <https://doi.org/10.5194/aab-62-597-2019>
5. Borilova G. *et al.* The effect of storage conditions on the hygiene and sensory status of wild boar meat. *Meat Science*. 2016; 118: 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.024>
6. Sales J., Kotrba R. Meat from wild boar (*Sus scrofa* L.): A review. *Meat Science*. 2013; 94(2): 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.01.012>
7. Migdał W., Radović Č., Živković V., Migdał Ł. The safety of wild boar (*Sus scrofa*) meat hunted in different European countries. *SciFood*. 2026; 20: 74–91. <https://doi.org/10.5219/sciFood.94>
8. Colomer J., Massei G., Roos D., Rosell C., Rodríguez-Teijeiro J.D. What drives wild boar density and population growth in Mediterranean environments?. *Science of the Total Environment*. 2024; 931: 172739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172739>
9. Козло П.Г. Дикий кабан. Минск: Ураджай. 1975; 223.
10. Данилкин А.А. Свиные (*Suidae*). М.: ГЕОС. 2002; 308. ISBN 5-89118-228-09
11. Modzelewska-Kapituła M., Żmijewski T. The influence of age and gender on the quality of raw and roasted wild boars (*Sus scrofa*) meat. *Meat Science*. 2021; 181: 108600. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108600>
12. Wang Z. *et al.* Genomic insights into the demographic history and local adaptation of wild boars across Eurasia. *Cell Genomics*. 2025; 5(9): 100954. <https://doi.org/10.1016/j.xgen.2025.100954>
13. Кульпин А.А. Особенности биотопического распределения и питания кабана (*Sus scrofa* L.) на севере европейской части России. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2008; (2): 82–86. EDN UJXNEP
14. Хакин Г.В., Снеговая И.В., Новикова Н.Н. Воздействие дикого кабана на биосеносы. *Фундаментальные исследования*. 2005; (10): 90–91. EDN IUJUHf
15. Dovrat G., Perevolotsky A., Ne'eman G. Wild boars as seed dispersal agents of exotic plants from agricultural lands to conservation areas. *Journal of Arid Environments*. 2012; 78: 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.011>
16. Ballari S.A., Barrios-García M.N. A review of wild boar *Sus scrofa* diet and factors affecting food selection in native and introduced ranges. *Mammal Review*. 2014; 44(2): 124–134. <https://doi.org/10.1111/mam.12015>
17. Barrios-García M.N., Ballari S.A. Impact of wild boar (*Sus scrofa*) in its introduced and native range: a review. *Biological Invasions*. 2012; 14(11): 2283–2300. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0229-6>
18. Kopij G., Panek M. Effect of Winter Temperature and Maize Food Abundance on Long-Term Population Dynamics of the Wild Boar *Sus scrofa*. *Polish Journal of Ecology*. 2016; 64(3): 436–441. <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2016.64.3.013>
19. Gočárová M., Moravčíková N., Molnár L., Fik M., Kasarda R. The Impact of Biometeorological, Demographic, and Ecological Factors on the Population Density of Wild Boar in Slovakia. *Sustainability*. 2025; 17(10): 4516. <https://doi.org/10.3390/su17104516>
20. Risch D.R., Ringma J., Price M.R. The global impact of wild pigs (*Sus scrofa*) on terrestrial biodiversity. *Scientific Reports*. 2021; 11: 13256. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92691-1>
21. Genov P.V., Focardi S., Morimando F., Scillitani L., Ahmed A. Ecological Impact of Wild Boar in Natural Ecosystems. Melletti M., Meijaard E. (eds.). *Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries*. Cambridge University Press. 2017; 404–419. <https://doi.org/10.1017/9781316941232.038>
22. Drimaj J., Kamler J., Phal R., Janata P., Adamec Z., Homolka M. Intensive hunting pressure changes local distribution of wild boar. *Human–Wildlife Interactions*. 2021; 15(1): 22–31. <https://doi.org/10.26077/b792-8211>
23. Ruiz-Fons F. A Review of the Current Status of Relevant Zoonotic Pathogens in Wild Swine (*Sus scrofa*) Populations: Changes Modulating the Risk of Transmission to Humans. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017; 64(1): 68–88. <https://doi.org/10.1111/tbed.12369>
3. Tsickin S.S., Suchkova T.N., Andreeva L.A., Korniyenko N.N. Wild boar and sika deer as a source of a high raw meat. *Technology and the study of merchandise of innovative foodsuffs*. 2016; (1): 20–24 (in Russian). EDN VMHVOT
4. Kasprzyk A., Stadnik J., Stasiak D. Technological and nutritional properties of meat from female wild boars (*Sus scrofa scrofa* L.) of different carcass weights. *Archives Animal Breeding*. 2019; 62(2): 597–604. <https://doi.org/10.5194/aab-62-597-2019>
5. Borilova G. *et al.* The effect of storage conditions on the hygiene and sensory status of wild boar meat. *Meat Science*. 2016; 118: 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.024>
6. Sales J., Kotrba R. Meat from wild boar (*Sus scrofa* L.): A review. *Meat Science*. 2013; 94(2): 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.01.012>
7. Migdał W., Radović Č., Živković V., Migdał Ł. The safety of wild boar (*Sus scrofa*) meat hunted in different European countries. *SciFood*. 2026; 20: 74–91. <https://doi.org/10.5219/sciFood.94>
8. Colomer J., Massei G., Roos D., Rosell C., Rodríguez-Teijeiro J.D. What drives wild boar density and population growth in Mediterranean environments?. *Science of the Total Environment*. 2024; 931: 172739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172739>
9. Kozlo P.G. Wild boar. Minsk: Uradzhay. 1975; 223 (in Russian).
10. Danilkin A.A. Pigs (*Suidae*). Moscow: GEOS. 2002; 308 (in Russian). ISBN 5-89118-228-09
11. Modzelewska-Kapituła M., Żmijewski T. The influence of age and gender on the quality of raw and roasted wild boars (*Sus scrofa*) meat. *Meat Science*. 2021; 181: 108600. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108600>
12. Wang Z. *et al.* Genomic insights into the demographic history and local adaptation of wild boars across Eurasia. *Cell Genomics*. 2025; 5(9): 100954. <https://doi.org/10.1016/j.xgen.2025.100954>
13. Kulpin A.A. Peculiarities of biotopic distribution and feeding of wild boar (*Sus scrofa* L.) in the north of the European part of Russia. *Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod*. 2008; (2): 82–86 (in Russian). EDN UJXNEP
14. Hahin G.V., Snegovaya I.V., Novikova N.N. Boar influence on biocenosis. *Fundamental research*. 2005; (10): 90–91 (in Russian). EDN IUJUHf
15. Dovrat G., Perevolotsky A., Ne'eman G. Wild boars as seed dispersal agents of exotic plants from agricultural lands to conservation areas. *Journal of Arid Environments*. 2012; 78: 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.011>
16. Ballari S.A., Barrios-García M.N. A review of wild boar *Sus scrofa* diet and factors affecting food selection in native and introduced ranges. *Mammal Review*. 2014; 44(2): 124–134. <https://doi.org/10.1111/mam.12015>
17. Barrios-García M.N., Ballari S.A. Impact of wild boar (*Sus scrofa*) in its introduced and native range: a review. *Biological Invasions*. 2012; 14(11): 2283–2300. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0229-6>
18. Kopij G., Panek M. Effect of Winter Temperature and Maize Food Abundance on Long-Term Population Dynamics of the Wild Boar *Sus scrofa*. *Polish Journal of Ecology*. 2016; 64(3): 436–441. <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2016.64.3.013>
19. Gočárová M., Moravčíková N., Molnár L., Fik M., Kasarda R. The Impact of Biometeorological, Demographic, and Ecological Factors on the Population Density of Wild Boar in Slovakia. *Sustainability*. 2025; 17(10): 4516. <https://doi.org/10.3390/su17104516>
20. Risch D.R., Ringma J., Price M.R. The global impact of wild pigs (*Sus scrofa*) on terrestrial biodiversity. *Scientific Reports*. 2021; 11: 13256. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92691-1>
21. Genov P.V., Focardi S., Morimando F., Scillitani L., Ahmed A. Ecological Impact of Wild Boar in Natural Ecosystems. Melletti M., Meijaard E. (eds.). *Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries*. Cambridge University Press. 2017; 404–419. <https://doi.org/10.1017/9781316941232.038>
22. Drimaj J., Kamler J., Phal R., Janata P., Adamec Z., Homolka M. Intensive hunting pressure changes local distribution of wild boar. *Human–Wildlife Interactions*. 2021; 15(1): 22–31. <https://doi.org/10.26077/b792-8211>
23. Ruiz-Fons F. A Review of the Current Status of Relevant Zoonotic Pathogens in Wild Swine (*Sus scrofa*) Populations: Changes Modulating the Risk of Transmission to Humans. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017; 64(1): 68–88. <https://doi.org/10.1111/tbed.12369>

24. Jori F., Pleydell D., Burnichon E., Casal J., Barasona J.A. Wild boar trade and African swine fever risk of introduction into new territories: A quantitative release assessment with retrospective data of wild boar shipments to France and Spain (2010–2017). *One Health*. 2025; 21: 101185. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2025.101185>
25. Захарова О.И., Блохин А.А., Торопова Н.Н., Бурова О.А., Яшин И.В., Коренной Ф.И. Плотность популяции дикого кабана и распространение африканской чумы свиней в Российской Федерации. *Ветеринария сегодня*. 2022; 11(2): 104–113. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-104-113>
26. Bellini S., Casadei G., De Lorenzi G., Tamba M. A Review of Risk Factors of African Swine Fever Incursion in Pig Farming within the European Union Scenario. *Pathogens*. 2021; 10(1): 84. <https://doi.org/10.3390/pathogens10010084>
27. Gervasi V., Marcon A., Bellini S., Guberti V. Evaluation of the Efficiency of Active and Passive Surveillance in the Detection of African Swine Fever in Wild Boar. *Veterinary Sciences*. 2020; 7(1): 5. <https://doi.org/10.3390/vetsci7010005>
28. Tomasevic I. et al. Consumers' perceptions, attitudes and perceived quality of game meat in European countries. *Meat Science*. 2018; 142: 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.016>
29. Жихарева С.В., Гергель М.А. Проблемы и перспективы контроля безопасности охотничьей продукции в Российской Федерации. *Биологические и ветеринарные аспекты в сохранении и лечении диких животных. Материалы Международной научно-практической конференции*. Уссурийск. 2025; 168–171. EDN FGDYIE
30. Егорова И.Ю., Цыбанова В.А. Дикие животные как источник пищевых токсикоинфекций человека. *Ветеринарная патология*. 2011; (4): 45–48. EDN OWGJNP
31. Sampels S., Jonsson M., Sandgren M., Karlsson A., Segerkvist K.A. Sustainable Delicacy: Variation in Quality and Sensory Aspects in Wild Boar (*Sus scrofa*) Meat and Comparison to Pork Meat—A Case Study. *Foods*. 2023; 12(8): 1644. <https://doi.org/10.3390/foods12081644>
32. Żochowska J., Lachowicz K., Gajowiecki L., Sobczak M., Kotowicz M., Żych A. Effects of carcass weight and muscle on texture, structure and myofibre characteristics of wild boar meat. *Meat Science*. 2005; 71(2): 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.019>
33. Żmijewski T., Modzelewska-Kapituła M. The influence of age and sex on carcass characteristics and chemical composition of the longissimus thoracis et lumborum muscle in wild boars (*Sus scrofa*). *Archives Animal Breeding*. 2021; 64(1): 199–210. <https://doi.org/10.5194/aab-64-199-2021>
34. Fischer J., Wüst M. Quantitative determination of the boar taint compounds androstenone, skatole, indole, 3 α -androstenol and 3 β -androstenol in wild boars (*Sus scrofa*) reveals extremely low levels of the tryptophan-related degradation products. *Food Chemistry*. 2012; 135(4): 2128–2132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.105>
35. Гаврилова К.А., Зенков М.В., Губин Д.И., Абушаев Ш.Б. Особенности проведения ветеринарно-санитарной экспертизы в лаборатории рынка. *Актуальные проблемы инфекционной патологии и биотехнологии. Материалы X Международной студенческой научной конференции*. Ульяновск: УлГАУ. 2017; 1: 149–152. EDN ZHBVKP
36. Глушенко Л.Ф., Ларичева К.Н. Резервы и пути повышения эффективности использования мяса дикого кабана. *Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого*. 2013; 71(2): 32–36. EDN SXEGZD
37. Ludwiczak A., Składanowska-Baryza J., Stanisław M. Effect of Age and Sex on the Quality of Offal and Meat of the Wild Boar (*Sus scrofa*). *Animals*. 2020; 10(4): 660. <https://doi.org/10.3390/ani10040660>
38. Ivanovic S.D., Stojanovic Z.M., Popov-Raljac J.V., Baltic M.Z., Pisinov B.P., Nesic K.D. Meat quality characteristics of Duroc×Yorkshire, Duroc×Yorkshire×Wild Boar and Wild Boar. *Hemijaska industrija*. 2013; 67(6): 999–1006. <https://doi.org/10.2298/HEMIND1212110171>
39. Катаева Д.Г., Атаев А.М. Аминокислотный состав мяса дикого кабана. *Вестник ветеринарии*. 2008; (2): 64–65. EDN JTWJJV
40. Подвалова В.В., Теребова С.В., Колтун Г.Г., Момот Н.В. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса дикого кабана. *Иппология и ветеринария*. 2021; (4): 130–138. EDN ZTDHFX
41. Шестопалова И.А., Уварова Н.А. Разработка рецептуры мясного паштета с использованием мяса дикого кабана. *Процессы и аппараты пищевых производств*. 2012; (1): 54. EDN RCPPPF
24. Jori F., Pleydell D., Burnichon E., Casal J., Barasona J.A. Wild boar trade and African swine fever risk of introduction into new territories: A quantitative release assessment with retrospective data of wild boar shipments to France and Spain (2010–2017). *One Health*. 2025; 21: 101185. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2025.101185>
25. Zakharova O.I., Blokhin A.A., Toropova N.N., Burova O.A., Yashin I.V., Korennoy F.I. Density of wild boar population and spread of African swine fever in the Russian Federation. *Veterinary Science Today*. 2022; 11(2): 104–113 (in Russian). <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-104-113>
26. Bellini S., Casadei G., De Lorenzi G., Tamba M. A Review of Risk Factors of African Swine Fever Incursion in Pig Farming within the European Union Scenario. *Pathogens*. 2021; 10(1): 84. <https://doi.org/10.3390/pathogens10010084>
27. Gervasi V., Marcon A., Bellini S., Guberti V. Evaluation of the Efficiency of Active and Passive Surveillance in the Detection of African Swine Fever in Wild Boar. *Veterinary Sciences*. 2020; 7(1): 5. <https://doi.org/10.3390/vetsci7010005>
28. Tomasevic I. et al. Consumers' perceptions, attitudes and perceived quality of game meat in European countries. *Meat Science*. 2018; 142: 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.016>
29. Zhikhareva S.V., Gergel M.A. Problems and prospects of safety control of game meat products in the Russian Federation. *Biological and veterinary aspects in the conservation and treatment of wild animals. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Ussuriysk. 2025; 168–171 (in Russian). EDN FGDYIE
30. Egorova I.Yu., Tsybanova V.A. Wild animals as a source of human foodborne toxic infections. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2011; (4): 45–48 (in Russian). EDN OWGJNP
31. Sampels S., Jonsson M., Sandgren M., Karlsson A., Segerkvist K.A. Sustainable Delicacy: Variation in Quality and Sensory Aspects in Wild Boar (*Sus scrofa*) Meat and Comparison to Pork Meat—A Case Study. *Foods*. 2023; 12(8): 1644. <https://doi.org/10.3390/foods12081644>
32. Żochowska J., Lachowicz K., Gajowiecki L., Sobczak M., Kotowicz M., Żych A. Effects of carcass weight and muscle on texture, structure and myofibre characteristics of wild boar meat. *Meat Science*. 2005; 71(2): 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.019>
33. Żmijewski T., Modzelewska-Kapituła M. The influence of age and sex on carcass characteristics and chemical composition of the longissimus thoracis et lumborum muscle in wild boars (*Sus scrofa*). *Archives Animal Breeding*. 2021; 64(1): 199–210. <https://doi.org/10.5194/aab-64-199-2021>
34. Fischer J., Wüst M. Quantitative determination of the boar taint compounds androstenone, skatole, indole, 3 α -androstenol and 3 β -androstenol in wild boars (*Sus scrofa*) reveals extremely low levels of the tryptophan-related degradation products. *Food Chemistry*. 2012; 135(4): 2128–2132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.105>
35. Gavrilova K.A., Zenkov M.V., Gubin D.I., Abushaev Sh.B. Features of veterinary-sanitary expertise in market laboratory. *Actual problems of infectious pathology and biotechnology: Proceedings of the X International student scientific conference*. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University. 2017; 1: 149–152 (in Russian). EDN ZHBVKP
36. Glushchenko L.F., Laricheva K.N. Reserves and ways to improve the efficiency of using wild boar meat. *Vestnik of Novgorod State University*. 2013; 71(2): 32–36 (in Russian). EDN SXEGZD
37. Ludwiczak A., Składanowska-Baryza J., Stanisław M. Effect of Age and Sex on the Quality of Offal and Meat of the Wild Boar (*Sus scrofa*). *Animals*. 2020; 10(4): 660. <https://doi.org/10.3390/ani10040660>
38. Ivanovic S.D., Stojanovic Z.M., Popov-Raljac J.V., Baltic M.Z., Pisinov B.P., Nesic K.D. Meat quality characteristics of Duroc×Yorkshire, Duroc×Yorkshire×Wild Boar and Wild Boar. *Hemijaska industrija*. 2013; 67(6): 999–1006. <https://doi.org/10.2298/HEMIND1212110171>
39. Katayeva D.G., Atayev A.M. Amino acid composition of wild boar meat. *Vestnik veterinarii*. 2008; (2): 64–65 (in Russian). EDN JTWJJV
40. Podvalova V.V., Terebova S.V., Koltun G.G., Momot N.V. Veterinary and sanitary expertise of wild boar meat. *Hippology and Veterinary Medicine*. 2021; (4): 130–138 (in Russian). EDN ZTDHFX
41. Shestopalova I.A., Uvarova N.A. Development of the pate receipt with meat of wild-boar. *Processes and Food Production Equipment*. 2012; (1): 54 (in Russian). EDN RCPPPF

42. Batorska M. *et al.* Effect of sex on the meat quality of European wild boar (*Sus scrofa scrofa*). *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Animal Science*. 2016; 55(1): 5–11.
43. Niewiadomska K., Kosicka-Gębska M., Gębski J., Jeżewska-Zychowicz M., Sulek M. Perception of the Health Threats Related to the Consumption of Wild Animal Meat—Is Eating Game Risky?. *Foods*. 2021; 10(7): 1544. <https://doi.org/10.3390/foods10071544>
44. Kwiecińska K., Kosicka-Gębska M., Gębski J. Poziom bezpieczeństwa jako czynnik warunkujący konsumpcję dziczyzny. *Problemy Higieny i Epidemiologii*. 2015; 96(3): 594–597.
45. Еськов Е.К., Вачугов Д.Д. Вероятность загрязнения тела диких кабанов тяжелыми металлами. *Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Материалы III международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования ИРГСХА*. Иркутск: ИРГСХА. 2014; 120–123. EDN TQDWIB
46. Lénárt Z., Bartha A., Abonyi-Tóth Z., Lehel J. Monitoring of metal content in the tissues of wild boar (*Sus scrofa*) and its food safety aspect. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023; 30(6): 15899–15910. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23329-6>
47. Vidosavljević D. *et al.* Assessment of Selected Heavy Metals and Arsenic Concentrations in Wild Boar (*Sus scrofa* L.) from Papuk Nature Park (Croatia). *Journal of Xenobiotics*. 2025; 15(3): 74. <https://doi.org/10.3390/jox15030074>
48. Durkalec M., Szkoda J., Kolacz R., Opaliński S., Nawrocka A., Zmudzki J. Bioaccumulation of Lead, Cadmium and Mercury in Roe Deer and Wild Boars from Areas with Different Levels of Toxic Metal Pollution. *International Journal of Environmental Research*. 2015; 9(1): 205–212.
49. Roślewska A., Stanek M., Janicki B., Cygan-Szczegieliński D., Stasiak K., Buzafa M. Effect of sex on the content of elements in meat from wild boars (*Sus scrofa* L.) originating from the Province of Podkarpackie (south-eastern Poland). *Journal of Elementology*. 2016; 21(3): 823–832. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.943>
50. Maľová J., Ciberej J., Maľa P., Zigo F., Semjon B. Heavy metal levels in the tissues of wild living animals from two distinct industrially exploited areas in Slovakia. *Slovak Journal of Animal Science*. 2019; 52(3): 100–110.
51. Gašparík J. *et al.* Levels of Metals in Kidney, Liver, and Muscle Tissue and their Influence on the Fitness for the Consumption of Wild Boar from Western Slovakia. *Biological Trace Element Research*. 2017; 177(2): 258–266. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0884-z>
52. Boişteanu P.-C. *et al.* Essential and toxic elements analysis of wild boar tissues from north-eastern Romania and health risk implications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1406579. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1406579>
53. Bilandžić N., Sedak M., Đokić M., Šimić N. Wild Boar Tissue Levels of Cadmium, Lead and Mercury in Seven Regions of Continental Croatia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010; 84(6): 738–743. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-9999-7>
54. Ertl K., Kitzner R., Goessler W. Elemental composition of game meat from Austria. *Food Additives & Contaminants: Part B*. 2016; 9(2): 120–126. <https://doi.org/10.1080/19393210.2016.1151464>
55. Danieli P.P., Serrani F., Primi R., Ponzetta M.P., Ronchi B., Amici A. Cadmium, Lead, and Chromium in Large Game: A Local-Scale Exposure Assessment for Hunters Consuming Meat and Liver of Wild Boar. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012; 63(4): 612–627. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9791-2>
56. Palazzo M. *et al.* Quality and safety of meat from wild boar hunted in Molise region. *Italian Journal of Animal Science*. 2021; 20(1): 1889–1898. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1965924>
57. Mehmood N. *et al.* Lead concentrations in wild boar from Sardinia: analysis of food safety concerns. *Environmental Sciences Europe*. 2025; 37: 54. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01092-y>
58. Demirbaş Y., Erduran N. Concentration of Selected Heavy Metals in Brown Hare (*Lepus europaeus*) and Wild Boar (*Sus scrofa*) from Central Turkey. *Balkan Journal of Wildlife Research*. 2017; 4(2): 26–33. <https://doi.org/10.15679/bjwr.v4i2.54>
59. Rutkowska-Mazur A., Niedziółka J., Walczycka M., Gubała D., Migdał Ł., Migdał W. The chemical composition and safety of wild boars meat hunted in Poland. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2023; 43: 57–69.
42. Batorska M. *et al.* Effect of sex on the meat quality of European wild boar (*Sus scrofa scrofa*). *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Animal Science*. 2016; 55(1): 5–11.
43. Niewiadomska K., Kosicka-Gębska M., Gębski J., Jeżewska-Zychowicz M., Sulek M. Perception of the Health Threats Related to the Consumption of Wild Animal Meat—Is Eating Game Risky?. *Foods*. 2021; 10(7): 1544. <https://doi.org/10.3390/foods10071544>
44. Kwiecińska K., Kosicka-Gębska M., Gębski J. Safety level as a factor determining venison consumption. *Problemy Higieny i Epidemiologii*. 2015; 96(3): 594–597 (in Polish).
45. Es'kov E.K., Vachugov D.D. Probability of pollution of the body of wild boars heavy metals. *Climate, ecology, agriculture of Eurasia. Proceedings of the III International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Irkutsk State Agricultural Academy*. Irkutsk: Irkutsk State Agricultural Academy. 2014; 120–123 (in Russian). EDN TQDWIB
46. Lénárt Z., Bartha A., Abonyi-Tóth Z., Lehel J. Monitoring of metal content in the tissues of wild boar (*Sus scrofa*) and its food safety aspect. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023; 30(6): 15899–15910. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23329-6>
47. Vidosavljević D. *et al.* Assessment of Selected Heavy Metals and Arsenic Concentrations in Wild Boar (*Sus scrofa* L.) from Papuk Nature Park (Croatia). *Journal of Xenobiotics*. 2025; 15(3): 74. <https://doi.org/10.3390/jox15030074>
48. Durkalec M., Szkoda J., Kolacz R., Opaliński S., Nawrocka A., Zmudzki J. Bioaccumulation of Lead, Cadmium and Mercury in Roe Deer and Wild Boars from Areas with Different Levels of Toxic Metal Pollution. *International Journal of Environmental Research*. 2015; 9(1): 205–212.
49. Roślewska A., Stanek M., Janicki B., Cygan-Szczegieliński D., Stasiak K., Buzafa M. Effect of sex on the content of elements in meat from wild boars (*Sus scrofa* L.) originating from the Province of Podkarpackie (south-eastern Poland). *Journal of Elementology*. 2016; 21(3): 823–832. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.943>
50. Maľová J., Ciberej J., Maľa P., Zigo F., Semjon B. Heavy metal levels in the tissues of wild living animals from two distinct industrially exploited areas in Slovakia. *Slovak Journal of Animal Science*. 2019; 52(3): 100–110.
51. Gašparík J. *et al.* Levels of Metals in Kidney, Liver, and Muscle Tissue and their Influence on the Fitness for the Consumption of Wild Boar from Western Slovakia. *Biological Trace Element Research*. 2017; 177(2): 258–266. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0884-z>
52. Boişteanu P.-C. *et al.* Essential and toxic elements analysis of wild boar tissues from north-eastern Romania and health risk implications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1406579. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1406579>
53. Bilandžić N., Sedak M., Đokić M., Šimić N. Wild Boar Tissue Levels of Cadmium, Lead and Mercury in Seven Regions of Continental Croatia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010; 84(6): 738–743. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-9999-7>
54. Ertl K., Kitzner R., Goessler W. Elemental composition of game meat from Austria. *Food Additives & Contaminants: Part B*. 2016; 9(2): 120–126. <https://doi.org/10.1080/19393210.2016.1151464>
55. Danieli P.P., Serrani F., Primi R., Ponzetta M.P., Ronchi B., Amici A. Cadmium, Lead, and Chromium in Large Game: A Local-Scale Exposure Assessment for Hunters Consuming Meat and Liver of Wild Boar. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012; 63(4): 612–627. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9791-2>
56. Palazzo M. *et al.* Quality and safety of meat from wild boar hunted in Molise region. *Italian Journal of Animal Science*. 2021; 20(1): 1889–1898. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1965924>
57. Mehmood N. *et al.* Lead concentrations in wild boar from Sardinia: analysis of food safety concerns. *Environmental Sciences Europe*. 2025; 37: 54. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01092-y>
58. Demirbaş Y., Erduran N. Concentration of Selected Heavy Metals in Brown Hare (*Lepus europaeus*) and Wild Boar (*Sus scrofa*) from Central Turkey. *Balkan Journal of Wildlife Research*. 2017; 4(2): 26–33. <https://doi.org/10.15679/bjwr.v4i2.54>
59. Rutkowska-Mazur A., Niedziółka J., Walczycka M., Gubała D., Migdał Ł., Migdał W. The chemical composition and safety of wild boars meat hunted in Poland. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2023; 43: 57–69.

60. Petrović Z., Vranić D., Đinović-Stojanović J., Velebit B., Lukić M., Nikolić D. Cadmium and mercury content in liver and kidneys of wild game caught in various regions of Serbia. *International 57th Meat Industry Conference, Meat and Meat Products - Perspectives of Sustainable Production. Proceedings*. Belgrade, Serbia: Institute of Meat Hygiene and Technology. 2013; 257–262.
61. Florijančić T. *et al.* Assessment of heavy metal content in wild boar (*Sus scrofa* L.) hunted in eastern Croatia. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2015; 16(2): 630–636.
62. Piskorová L., Vasilková Z., Krupicer I. Heavy metal residues in tissues of wild boar (*Sus scrofa*) and red fox (*Vulpes vulpes*) in the Central Zemplin region of the Slovak Republic. *Czech Journal of Animal Science*. 2003; 48(3): 134–138.
63. Jota Baptista C. *et al.* Heavy metals and metalloids in wild boars (*Sus scrofa*) — a silent but serious public health hazard. *Veterinary Research Communications*. 2024; 48(2): 1015–1023. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10272-1>
64. Malmsten A., Dalin A.-M., Pettersson J., Persson S. Concentrations of cadmium, lead, arsenic, and some essential metals in wild boar from Sweden. *European Journal of Wildlife Research*. 2021; 67(2): 18. <https://doi.org/10.1007/s10344-021-01460-y>
65. Rudy M. Chemical composition of wild boar meat and relationship between age and bioaccumulation of heavy metals in muscle and liver tissue. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2010; 27(4): 464–472. <https://doi.org/10.1080/19440040903493785>
66. Bąkowska M., Pilarczyk B., Tomza-Marciniak A., Pilarczyk R., Udała J. Cadmium in Selected Organs of Game Animals from Areas with Different Degrees of Industrialisation and Its Intake by Human Consumers. *Animals*. 2024; 14(2): 305. <https://doi.org/10.3390/ani14020305>
67. Cammilleri G. *et al.* Trace metals and metalloids in wild boars (*S. scrofa*) from Southern Italy: comparison between urban and wild areas. *Chemosphere*. 2025; 380: 144473. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144473>
68. Cokoski K. *et al.* Occurrence of Heavy Metals (Cd, Pb, As, Hg) in the Liver of Wild Boars in the Republic of North Macedonia. *Contemporary Agriculture*. 2024; 73(1–2): 28–33. <https://doi.org/10.2478/contagri-2024-0004>
69. Draghi S. *et al.* Evaluation of the Difference in the Content of Essential and Non-Essential Elements in Wild Boar and Swine Tissues Sampled in the Same Area of Northern Italy. *Animals*. 2024; 14(6): 827. <https://doi.org/10.3390/ani14060827>
70. Ельцова Л.С. Оценка поступления ртути в организм потребителей дикого мяса в Вологодской области. *Научный аспект*. 2023; (5-17): 2173–2183. EDN AVLWC
71. Lazarus M., Prevendar Crnić A., Bilandžić N., Kusak J., Reljić S. Cadmium, lead, and mercury exposure assessment among Croatian consumers of free-living game. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*. 2014; 65(3): 281–292. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-65-2014-2527>
72. Nawrocka A. *et al.* Total mercury levels in the muscle and liver of livestock and game animals in Poland, 2009–2018. *Chemosphere*. 2020; 258: 127311. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127311>
73. Максимюк Н.Н., Ребезов М.Б. Исследование содержания ксенобиотиков в мясе диких кабанов. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015; (7-2): 81–85. EDN UCQOXJ
74. Vilić M., Barisic D., Kraljevic P., Lulic S. ¹³⁷Cs concentration in meat of wild boars (*Sus scrofa*) in Croatia a decade and half after the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2005; 81(1): 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.12.001>
75. Kouba F. *et al.* Radiocaesium in wild boars in Novohradské (Gratzen) Mountains. *Acta Veterinaria Brno*. 2022; 91(1): 87–97. <https://doi.org/10.2754/avb202291010087>
76. Yoshida M. *et al.* Distribution of Radioactive Cesium during Wild Boar Meat Processing. *Journal of Food Protection*. 2022; 85(9): 1258–1264. <https://doi.org/10.4315/JFP-22-124>
77. Czerski P., Gembal M., Warenik-Bany M. Caesium-137 in the muscles of game animals in 2015–2022 - levels and time trend. *Journal of Veterinary Research*. 2024; 68(2): 263–270. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2024-0026>
78. Ołoś G., Dołhańczuk-Śródka A. Levels of ¹³⁷Cs in game and soil in Opole Anomaly, Poland in 2012–2020. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021; 223: 112577. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112577>
60. Petrović Z., Vranić D., Đinović-Stojanović J., Velebit B., Lukić M., Nikolić D. Cadmium and mercury content in liver and kidneys of wild game caught in various regions of Serbia. *International 57th Meat Industry Conference, Meat and Meat Products - Perspectives of Sustainable Production. Proceedings*. Belgrade, Serbia: Institute of Meat Hygiene and Technology. 2013; 257–262.
61. Florijančić T. *et al.* Assessment of heavy metal content in wild boar (*Sus scrofa* L.) hunted in eastern Croatia. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2015; 16(2): 630–636.
62. Piskorová L., Vasilková Z., Krupicer I. Heavy metal residues in tissues of wild boar (*Sus scrofa*) and red fox (*Vulpes vulpes*) in the Central Zemplin region of the Slovak Republic. *Czech Journal of Animal Science*. 2003; 48(3): 134–138.
63. Jota Baptista C. *et al.* Heavy metals and metalloids in wild boars (*Sus scrofa*) — a silent but serious public health hazard. *Veterinary Research Communications*. 2024; 48(2): 1015–1023. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10272-1>
64. Malmsten A., Dalin A.-M., Pettersson J., Persson S. Concentrations of cadmium, lead, arsenic, and some essential metals in wild boar from Sweden. *European Journal of Wildlife Research*. 2021; 67(2): 18. <https://doi.org/10.1007/s10344-021-01460-y>
65. Rudy M. Chemical composition of wild boar meat and relationship between age and bioaccumulation of heavy metals in muscle and liver tissue. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2010; 27(4): 464–472. <https://doi.org/10.1080/19440040903493785>
66. Bąkowska M., Pilarczyk B., Tomza-Marciniak A., Pilarczyk R., Udała J. Cadmium in Selected Organs of Game Animals from Areas with Different Degrees of Industrialisation and Its Intake by Human Consumers. *Animals*. 2024; 14(2): 305. <https://doi.org/10.3390/ani14020305>
67. Cammilleri G. *et al.* Trace metals and metalloids in wild boars (*S. scrofa*) from Southern Italy: comparison between urban and wild areas. *Chemosphere*. 2025; 380: 144473. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144473>
68. Cokoski K. *et al.* Occurrence of Heavy Metals (Cd, Pb, As, Hg) in the Liver of Wild Boars in the Republic of North Macedonia. *Contemporary Agriculture*. 2024; 73(1–2): 28–33. <https://doi.org/10.2478/contagri-2024-0004>
69. Draghi S. *et al.* Evaluation of the Difference in the Content of Essential and Non-Essential Elements in Wild Boar and Swine Tissues Sampled in the Same Area of Northern Italy. *Animals*. 2024; 14(6): 827. <https://doi.org/10.3390/ani14060827>
70. Yel'tsova L.S. Assessment of mercury intake by wild meat consumers in the Vologda region. *Nauchnyy aspekt*. 2023; (5-17): 2173–2183 (in Russian). EDN AVLWC
71. Lazarus M., Prevendar Crnić A., Bilandžić N., Kusak J., Reljić S. Cadmium, lead, and mercury exposure assessment among Croatian consumers of free-living game. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*. 2014; 65(3): 281–292. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-65-2014-2527>
72. Nawrocka A. *et al.* Total mercury levels in the muscle and liver of livestock and game animals in Poland, 2009–2018. *Chemosphere*. 2020; 258: 127311. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127311>
73. Maksimyuk N.N., Rebezov M.B. Study of xenobiotics in the meat of wild boar. *International Research Journal*. 2015; (7-2): 81–85 (in Russian). EDN UCQOXJ
74. Vilić M., Barisic D., Kraljevic P., Lulic S. ¹³⁷Cs concentration in meat of wild boars (*Sus scrofa*) in Croatia a decade and half after the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2005; 81(1): 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.12.001>
75. Kouba F. *et al.* Radiocaesium in wild boars in Novohradské (Gratzen) Mountains. *Acta Veterinaria Brno*. 2022; 91(1): 87–97. <https://doi.org/10.2754/avb202291010087>
76. Yoshida M. *et al.* Distribution of Radioactive Cesium during Wild Boar Meat Processing. *Journal of Food Protection*. 2022; 85(9): 1258–1264. <https://doi.org/10.4315/JFP-22-124>
77. Czerski P., Gembal M., Warenik-Bany M. Caesium-137 in the muscles of game animals in 2015–2022 - levels and time trend. *Journal of Veterinary Research*. 2024; 68(2): 263–270. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2024-0026>
78. Ołoś G., Dołhańczuk-Śródka A. Levels of ¹³⁷Cs in game and soil in Opole Anomaly, Poland in 2012–2020. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021; 223: 112577. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112577>

79. Hohmann U., Huckschlag D. Investigations on the radiocaesium contamination of wild boar (*Sus scrofa*) meat in Rhineland-Palatinate: a stomach content analysis. *European Journal of Wildlife Research*. 2005; 51(4): 263–270.
<https://doi.org/10.1007/s10344-005-0108-x>

80. Dvořák P., Snášel P., Beňová K. Transfer of Radiocesium into Wild Boar Meat. *Acta Veterinaria Brno*. 2010; 79(S9): S85–S91.
<https://doi.org/10.2754/avb201079s9s085>

ОБ АВТОРАХ

Ярослав Максимович Ребезов¹

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

Максим Борисович Ребезов²

доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник
m.rebezov@fnpcps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
 ул. Большая Санкт-Петербургская, 41, Великий Новгород,
 173003, Россия

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

79. Hohmann U., Huckschlag D. Investigations on the radiocaesium contamination of wild boar (*Sus scrofa*) meat in Rhineland-Palatinate: a stomach content analysis. *European Journal of Wildlife Research*. 2005; 51(4): 263–270.
<https://doi.org/10.1007/s10344-005-0108-x>

80. Dvořák P., Snášel P., Beňová K. Transfer of Radiocesium into Wild Boar Meat. *Acta Veterinaria Brno*. 2010; 79(S9): S85–S91.
<https://doi.org/10.2754/avb201079s9s085>

ABOUT THE AUTHORS

Yaroslav Maksimovich Rebezov¹

Candidate of biological sciences,
 Research Fellow, Applied Biotechnology Sector; Educational
 and scientific research laboratory of the Institute of Chemical
 Technology
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

Maksim Borisovich Rebezov²

Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary
 Sciences, Professor, Chief Researcher
m.rebezov@fnpcps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,

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

²Gorbatov Research Center for Food Systems,

26 Talalikhin st., Moscow, 109316, 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

Е. О. Крупин ✉

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

✉ evgeny.krupin@gmail.com

Поступила в редакцию: 06.02.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Крупин Е. О.

Влияние этиологии заболеваний на лактационные и репродуктивные показатели выбракованных коров и первотелок

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Достаточно велика доля животных, выбракованных из стад, особенно высокопродуктивных, по причине различных болезней.

Методы. Материалом послужила информация из базы программы племенного учета «ИАС «СЕЛЭКС» — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах», касающаяся 33982 коров и первотелок, выбывших из молочных стад 26 сельскохозяйственных предприятий Республики Татарстан в период с 2001 по 2023 гг. вследствие болезней: акушерско-гинекологических (АГБ), внутренних незаразных (ВНБ), хирургических (ХБ), инфекционных и инвазионных (ИИБ).

Результаты. Получены новые знания о продолжительности отдельных периодов продуктивного и репродуктивного цикла. Продолжительность лактации выбракованных первотелок составляла в среднем 401,18 день; периода от отела до первого осеменения — 98,08 дней, от отела до первого плодотворного осеменения (сервис-период) — 160,75 дней. Продолжительность лактации у выбывших коров составляла в среднем 345,74 дня; сухостойного периода — 62,60 дня; периода от отела до первого осеменения — 86,32 дня; периода от отела до первого плодотворного осеменения (сервис-период) — 146,27 дней; межотельного периода — 415,30 дней. У выбракованных первотелок имелись значимые связи продолжительности лактации между группами нозологий — АГБ с ВНБ и ИИБ; продолжительности сервис-периода между группами нозологий — АГБ с ВНБ и ХБ, ВНБ с ХБ, ХБ с ИИБ. У выбывших дойных коров наиболее часто значимые различия продолжительности изучаемых периодов наблюдались в парах АГБ с ВНБ. Если рассматривать показатели за все лактации в среднем, с равной частотой значимые различия выявлены в парах АГБ с ВНБ и ХБ, а также ВНБ с ХБ. С точки зрения последней законченной лактации и максимальной лактации, между величинами при АГБ и ВНБ.

Ключевые слова: корова, первотелка, болезнь, выбраковка, физиологический период, интерьерный профиль, лактация, сухостойный период, сервис-период, межотельный период

Для цитирования: Крупин Е. О. Влияние этиологии заболеваний на лактационные и репродуктивные показатели выбракованных коров и первотелок. *Аграрная наука*. 2026; 407(06): 36–47.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-36-47>

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: 06.02.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Krupin E. O.

Impact of Disease Etiology on Lactation and Reproductive Performance in Culled Cows and First-Calf Heifers

ABSTRACT

Relevance. The proportion of culled animals, particularly from high-producing herds, remains significantly high due to various diseases.

Methods. This study draws upon data from the breeding registry database “IAS SELEX — Dairy Cattle. Breeding Records in Farms,” encompassing 33,982 cows and heifers culled from the dairy herds of 26 agricultural enterprises in the Republic of Tatarstan between 2001 and 2023. The culling was attributed to the following disease categories: obstetric-gynecological (OGD), internal non-communicable (INCD), surgical (SD), and infectious and invasive diseases (IID).

Results. The research yielded new insights into the duration of key productive and reproductive intervals. For culled first-calf heifers, the average lactation length was 401.18 days; the calving-to-first-insemination interval was 98.08 days; and the calving-to-conception interval (service period) was 160.75 days. For culled cows, the average lactation length was 345.74 days; the dry period lasted 62.60 days; the calving-to-first-insemination interval was 86.32 days; the calving-to-conception interval (service period) was 146.27 days; and the calving interval was 415.30 days. In culled first-calf heifers, significant correlations in lactation duration were found between specific nosology groups: OGD with INCD, and OGD with IID. For the service period, significant correlations were observed between OGD and INCD, OGD and SD, INCD and SD, and SD and IID. Among culled dairy cows, the most frequent significant differences in the duration of the studied periods were found in comparisons involving OGD and INCD. When analyzing average values across all lactations, significant differences occurred with comparable frequency in the OGD–INCD, OGD–SD, and INCD–SD pairs. Considering the last completed lactation and the maximum lactation, the most pronounced significant differences were consistently observed between the groups with OGD and INCD.

Key words: cow, first-calf heifer, disease, culling, physiological period, interior profile, lactation, dry period, service period, calving period

For citation: Krupin E. O. Impact of Disease Etiology on Lactation and Reproductive Performance in Culled Cows and First-Calf Heifers. *Agrarian science*. 2026; 407(06): 36–47 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-36-47>

Введение/Introduction

В течение нескольких десятилетий целью селекции молочного скота было повышение молочной продуктивности. Однако многие функциональные признаки имеют отрицательную генетическую корреляцию с молочной продуктивностью, сейчас наблюдается снижение генетического потенциала в отношении здоровья скота и его приспособленности к тем или иным биотическим и абиотическим факторам [1]. Ситуация усугубилась с изменением подходов в кормлении скота. Кормление коров достаточно большим количеством сочных объемистых и концентрированных кормов при недостатке грубых кормов и легко ферментируемых углеводов довольно часто приводило к нарушению белкового, углеводного, минерального и витаминного обменов, что сказывалось на деятельности отдельных органов или их систем [2]. В целом выбраковка молочных коров является не однозначным признаком, а скорее результатом нескольких причин. Здесь и упомянутые выше болезни, а также определенные селекционные решения. Причем их приоритетность меняется с течением времени, а значит, генетический фон выбраковки может меняться в течение того или иного физиологического периода и жизни животного в целом [3].

Лактация и воспроизводство признаны фундаментальными факторами, непосредственно влияющими на устойчивость молочного животноводства [4].

Считается, что самая длинная лактация может быть у первотелок. Далее до восьмой лактации их продолжительности достаточно сопоставимы, а после девятой-десятой — резко сокращаются [5]. Однако существует мнение о том, что искусственное увеличение продолжительности первой лактации и одновременное сокращение сухостойного периода могут положительно сказаться на увеличении оплодотворяемости самок [6]. Увеличение продолжительности первой лактации более 360 дней неэффективно. Оптимальной является продолжительность лактации от 301 до 360 дней. У коров с такой продолжительностью первой лактации отмечаются максимальные показатели пожизненного удоя, продолжительности жизни, сухостного надоя [7].

Энергетический баланс в послеродовой период может быть лучше у коров, у которых не было сухостоя. При его отсутствии не наблюдалось существенных различий в физиологических реакциях и уровнях метаболитов в крови у молочных коров в послеродовом периоде [8]. Сокращение сухостойного периода (в разумных пределах) может быть выгодной стратегией, так как улучшает воспроизводство стада, не увеличивая при этом общую выбраковку [9]. В другом исследовании отмечалось, что коровы, сухостойный период у которых продолжался 40–70 дней, характеризовались более высокой молочной продуктивностью в период раздоя, а также более низкой электропроводностью

молока и наименьшим количеством соматических клеток, а также самой высокой концентрацией лактозы в молоке [10]. Кроме того, выявлены значимые взаимосвязи между продолжительностью сухостойного периода и полом теленка ($p < 0,01$). Так, при беременности телочками продолжительность сухостойного периода составляла 51–60 дней, а у коров, беременными бычками, сухостойный период был более продолжительным — 61–70 дней. Обнаружена значимая взаимосвязь между живой массой телят (при рождении и в 6 месяцев) и продолжительностью сухостойного периода на уровне $p < 0,01$, а также взаимосвязь между промерами тела (длина тела в 6 месяцев, высота в холке в 6 месяцев) и продолжительностью сухостойного периода на уровне $p < 0,05$. Причем наибольшие значения этих показателей наблюдались у телят, полученных от коров с продолжительностью сухостойного периода 61–70 дней [11]. В то же время установлено, что продолжительность сухостойного периода 80 дней обеспечивает повышение уровня молочной продуктивности у коров на 840 кг, содержание молочного жира в абсолютной величине на 38,82 кг, белка в молоке — на 0,06%, казеина — на 0,23%, сухого вещества — на 0,21%, кальция — на 7,8%, снижения срока плодотворного осеменения на 54,80 дней по сравнению с коровами с продолжительностью сухостойного периода 60,0 дней [12]. Стоит понимать, что в данный период не редки метаболические сдвиги (снижение содержания общего белка, глобулинов, глюкозы, активности аспаратаминотрансферазы) в организме животных на фоне дисбаланса минерального питания (недостаток цинка, меди, марганца, селена и кобальта, избыток железа и никеля), требуются соответствующие энергетические и минеральные субстраты для удовлетворения потребности животных и недопущения глубоких нарушений метаболизма [13]. Доказано, что содержание в рационах сухостойных коров нейтрально-детергентной клетчатки до 47,2% и кислотно-детергентной клетчатки до 27,6% не только приводит к повышению переваримости питательных веществ рациона, но и улучшает азотистый обмен, усиливает микробиологическую активность в рубце коров в этот физиологически важный период [14].

Продолжительность периода от отела до осеменения вплоть до 140 дней вполне может быть альтернативой традиционному периоду в 50 дней без ущерба как для молочной продуктивности, так и для воспроизводства, но лишь в высокопродуктивных стадах и после второго отела [15]. В другом исследовании подчеркивалось, что несмотря на то, что увеличение выше обозначенного периода на меньшую величину — до 88 дней — хоть и улучшает оплодотворяемость у животных при первом осеменении (особенно у первотелок), но при этом повышает риск выбытия коров из стада [16]. В тоже время более высокие значения продолжительности периода от отела до первого

осеменения (до 200 дней) несмотря на то, что улучшают метаболический статус (уровни инсулина и инсулиноподобного фактора роста-1) во время беременности, но после отела это приведет к снижению молочной продуктивности и усилению метаболического стресса. Однако это не касается первотелок [17]. В то же самое время среди животных с увеличенными концентрациями в крови глюкозы и холестерина проявляется тенденция к последующему снижению интервала от отела до первого осеменения и повышению на 20,8% молочной продуктивности за 100 дней лактации [18]. Создание индивидуальных программ, основанных на физиологическом восстановлении организма дойных коров, может сократить периоды от отела до осеменения, в том числе до первого плодотворного. При этом оценка метаболических маркеров крови может стать объективным методом оценки послеродового восстановления животного. Так, выявлены перспективные маркеры, по уровню которых можно судить о состоянии организма коров после отела: уровни сывороточного амилоида А и гаптоглобина, которые являются чувствительными индикаторами послеродового воспаления, в то время как уровень Т-холестерина и незатерифицированных жирных кислот в целом отражает восстановление метаболизма [19].

Если рассматривать период от отела до плодотворного осеменения (сервис-период), важно подчеркнуть, что как таковой корреляции его продолжительности с показателями здоровья не выявлено, но существуют коэффициенты корреляции между его продолжительностью и всеми продуктивными показателями, причем они были отрицательные и варьировались от -0,064 до -0,038 [20]. Сервис-период имеет высокую фенотипическую изменчивость (до 81,0–85,8%) и характеризуется низким коэффициентом наследуемости — 0,03–0,14 по причине сильного влияния паратипических факторов [21]. Наиболее эффективной можно считать продолжительность сервис-периода у коров-первотелок от 80 до 120 дней, так как при этом удой за 305 дней лактации находится на уровне среднего показателя по анализируемому поголовью. Суммарное количество молочного жира и белка на один день продуктивного периода выше среднего на 2,6–3,7 кг ($P > 0,999$) и 0,19–0,26 кг ($P > 0,999$) соответственно. Между продолжительностью сервис-периода и удоем наблюдается сильная положительная корреляция (+0,813). Отрицательная слабая корреляционная связь существует только между сервис-периодом и массовой долей белка (-0,111) [22, 23]. В другом исследовании установлено, что с увеличением сервис-периода от 109 дней и выше удой снижается. С увеличением сервис-периода количество молока за межотельный период и выход телят на 100 коров также снижается [24]. А в целях увеличения срока продуктивного долголетия коров и их пожизненной молочной продуктивности следует соблюдать длительность

сервис-периода дойного стада в пределах от 60 до 100 суток [25]. Средняя продолжительность сервис-периода в отечественных стадах — 132 дня. Такая же величина сервис-периода была у коров российских популяций черно-пестрой и айрширской пород при продуктивности 7177 и 7130 кг молока соответственно. Животные отечественной красно-пестрой породы в подконтрольных стадах при продуктивности 6691 кг молока по породе имели меньшую продолжительность сервис-периода (130 дней), а в Приволжском, Уральском и Сибирском округах величина этого показателя была еще меньше (121, 110, 129 дней соответственно) [26]. Кроме того, с увеличением продолжительности сервис-периода повышается удой, количество молочного жира и белка у коров татарстанского типа холмогорской породы с генотипами *PIT1/AA*, *PIT1/AB*, *PIT1/BB*, *PRL/AA*, *GH/VL*, *GHRH/AB*, *GHRH/BB*, *IGF1/AA*, *IGF1/AB*, *IGF1/BB* (96–109 дней, 110 дней и более), за исключением аналогов с генотипами *PRL/AB*, *GH/LL* (до 95 дней) [27].

Традиционно, с экономической точки зрения, рекомендуется добиваться годового межотельного периода, чтобы ежегодно достигать пика молочной продуктивности [28]. Нормальный межотельный период имеют только: по первой лактации 54,2%, по второй — 13,7% и по третьей — 15,5% коров [29].

Молочная продуктивность коров повышается с увеличением продолжительности периода между отелами. При этом средний удой в расчете на 1 день лактации, особенно на 1 день межотельного периода, уменьшается соответственно на 9,3 и 20,8%. Наиболее приемлемым и отвечающим физиологическим потребностям организма коров межотельным периодом можно считать период 361–390 суток [30]. Продолжительный межотельный период у самок может привести к снижению уровня в крови инсулиноподобного фактора роста-1, а также уровня продуктивности, скорректированной с учетом содержания жира и белка в молоке, но эти изменения наиболее выражены в период раздоя [31]. Оценивая величину интервала между отелами и ассоциируя его с репродуктивными показателями, важно не упускать из внимания генетический аспект. Номер лактации влиял на межотельный интервал в мясо-молочных стадах. Между номером лактации и продолжительностью межотельного интервала наблюдалась обратная зависимость [32]. Генетическая корреляция между межотельным интервалом и сохранением уровня молочной продуктивности после пика лактации слабая, но положительная [33]. Оценочная наследуемость продолжительности межотельного периода составила от 0,12 до 0,20 при использовании модели случайной регрессии и 0,17 при использовании модели повторяемости [34]. В целом, идентифицированы три окна из 50 последовательных SNP (*BT43*, *BT46* и *BT47*). Наиболее значимые расположены на хромосоме

ВТАЗ в позиции с 49,42 до 49,52 Мб. Внутри ассоциированных окон были обнаружены пять генов: *ARHGAP29*, *SEC24D*, *METTL14*, *SLC36A2* и *SLC36A3* [35]. Изучены и ассоциации продолжительности межотельного и сервис-периода и полиморфизма по различным генам хозяйственно-полезных качественных и количественных признаков крупного рогатого скота: лептина (*LEP*) — животные с генотипом ТТ гена *LEP* отличаются меньшей протяженностью межотельного и сервис-периодов по сравнению со сверстницами, имеющими генотипы СС и ТС; гипофизарный фактор транскрипции (*PIT-1*) — животные с генотипом АВ по гену *PIT-1* отличаются самым коротким межотельным периодом (376,6 дней), а коровы-первотелки с генотипом АВ достоверно отличаются в лучшую сторону по продолжительности сервис-периода (102,9 дней) [36, 37].

Подытоживая, следует отметить, что при оптимальных параметрах длительности лактации, сервис-периода и межотельного периода коровы могут начать следующую и при средних показателях длительности использования коров в 1,74 лактации увеличить ее до 1,99 лактации при том же уровне выбраковки и получить больше приплода. Для этого необходимо снизить длительность сервис-периода до 90-100 дней [38].

Исходя из вышеизложенного, цель данного исследования заключалась в получении новых данных о влиянии этиологической структуры заболеваний на продолжительность отдельных периодов продуктивного и репродуктивного цикла коров и первотелок, выбракованных из стад сельскохозяйственных предприятий, вследствие болезней — в разрезе нозологий различных групп.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

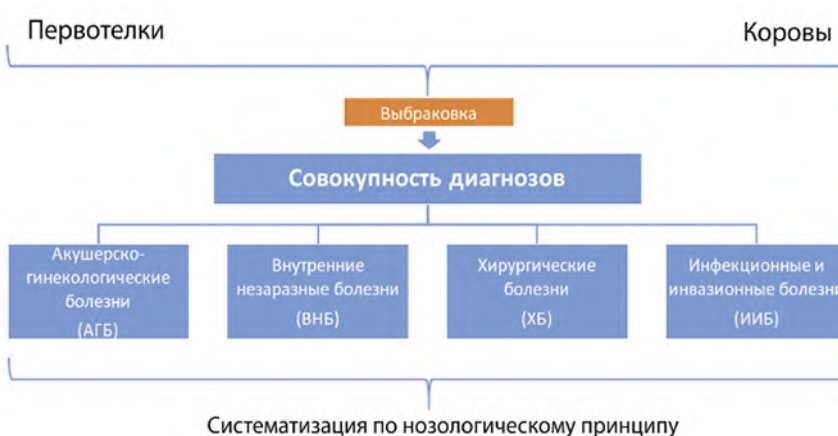
Исследование выполнено на базе ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН в отделе физиологии, биохимии, генетики и питания животных. В работе представлены результаты анализа ретроспективных данных, касающихся 33982 голов крупного рогатого скота (первотелок — 8067 гол. и коров — 25915 гол.), выбывших из молочных стад 26 сельскохозяйственных предприятий Республики Татарстан в период с 2001 по 2023 гг. по различным

причинам ветеринарного (болезни) характера. Случаи выбытия по иным причинам (зоотехнического, селекционного и другого характера) были исключены при первичной обработке данных и формировании аналитической выборки, в итоговый массив ($n = 33982$) не вошли, поскольку выходят за пределы целей и задач исследования. Материал получен из базы программы племенного учета «ИАС «СЕЛЭКС» — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах»¹. Для изучения были отобраны только те случаи, где причиной выбытия были указаны конкретные заболевания. Все диагнозы были систематизированы по нозологическому принципу на четыре группы: акушерско-гинекологические (АГБ), внутренние незаразные (ВНБ), хирургические (ХБ), а также инфекционные и инвазионные (ИИБ) болезни, что отражено на рисунке 1.

Анализу подвергали данные, по следующим ключевым показателям: 1) для коров: количество дойных дней, продолжительность сухостойного, межотельного и сервис-периодов, продолжительность периода от отела до первого осеменения (в том числе средние показатели за все лактации, последнюю законченную (ПЗЛ) и максимальную лактацию (МЛ)); 2) для первотелок — количество дойных дней, продолжительность сервис-периода и периода от отела до первого осеменения. Обработку данных провели биометрическими методами²⁻⁴. Данные анализировали с помощью однофакторного дисперсионного анализа или робастных критериев. Дисперсии проверяли на однородность. Статистическую значимость устанавливали определением критерия достоверности (p -value). Материал был обработан с помощью компьютерной программы Microsoft Excel⁵ (США), IBM SPSS Statistics⁶ (США)

Рис. 1. Схема систематизации диагнозов выбракованных животных

Fig. 1. Culling diagnosis systematization



¹ <https://plinor.ru/selexdairyacattle?ysclid=ml0oajf7i7691178123>

² Плохинский, А.Н. Биометрия. 2-е изд. / А.Н. Плохинский — М.: МГУ, 1970. — 367 с.

³ Лакин Г.Ф. Биометрия [Учеб. пособие для биол. спец. вузов]. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1990. — 351.

⁴ Усович, А.Т. Применение математической статистики при обработке экспериментальных данных в ветеринарии / А.Т. Усович, П.Т. Лебедев. — Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, Ом. отд-ние, 1970. — 39 с.

⁵ <https://www.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/excel?market=ru>

⁶ <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-22>

Работа выполнена в соответствии с ранее разработанной и опубликованной автором методикой [39, 40].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Проведено изучение структуры ветеринарной патологии у первотелок и коров в разрезе 23 лет — на протяжении всего анализируемого периода. Получены результаты, свидетельствующие о том, что у первотелок и коров (рис. 2а) происходит нарастание случаев той или иной ветеринарной патологии, приводящей к выбраковке животных на протяжении каждой пятилетки периода 2001–2020 гг. Показатели за неполную пятилетку — с 2021–2023 гг. в целом несколько ниже, чем за вторую и третью, и выше, чем за первую. Однако, чтобы у читателя не сложилось некорректного мнения, стоит отметить, что неравномерные темпы цифровизации племенного и ветеринарного учета в хозяйствах в течение 2001–2023 гг. могут вносить потенциальные искажения при погодном сравнении и сравнении по пятилеткам. Поэтому во избежание неверных интерпретаций, целесообразно рассматривать структуру ветеринарной патологии суммарно за весь период исследования. Полученные при таком подходе результаты указывают на то, что у первотелок и у коров наиболее часто причинами выбраковки являлись АГБ, далее следуют ВНБ, ХБ и в меньшей степени — ИИБ. Однако доля АГБ у коров превышает таковую у первотелок, а доля ВНБ, ХБ и ИИБ у первотелок выше аналогичной у коров (рис. 2б).

Исследования позволили установить значения продолжительности отдельных физиологических периодов в популяции дойных коров и первотелок, выбракованных из сельскохозяйственных предприятий Республики Татарстан в результате тех или иных нозологий (табл. 1).

Установлено, что изучаемые показатели варьируют в зависимости от нозологической формы заболевания и физиологического статуса животных (первотелки или коровы). Полученные данные требуют углубленного анализа с целью выявления достоверных различий между группами.

Так сложилось на практике, что экономическая эффективность молочного животноводства достигается при 305-дневном периоде лактации, за которым следует 60-дневный сухостойный период [41]. В то же время исследования показывают, что удлинение лактационного периода способствует не только повышению пожизненных надоев, но и снижению уровня выбраковки поголовья. Вместе с тем, решения о продлении лактации требуют тщательного и взвешенного подхода [42].

Средняя продолжительность лактаций у коров (рис. 3а-в), выбракованных по причине различных болезней, составила 308,95 дней, причем наименьшей она была у животных, выбывших в результате АГБ — 287,40 дней, а наибольшей — у особей, выбракованных вследствие

Рис. 2. Структура ветеринарной патологии у выбракованных первотелок (n = 8067) и коров (n = 25915) за 2001–2023 гг. и коров, %

Fig. 2. Structure of veterinary pathology in culled first-calf heifers (n = 8067) and cows (n = 25915) from 2001 to 2023, %

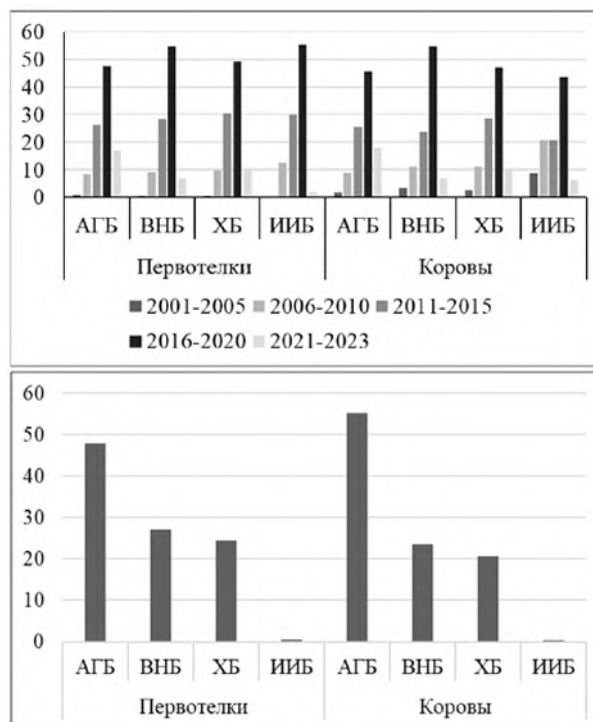


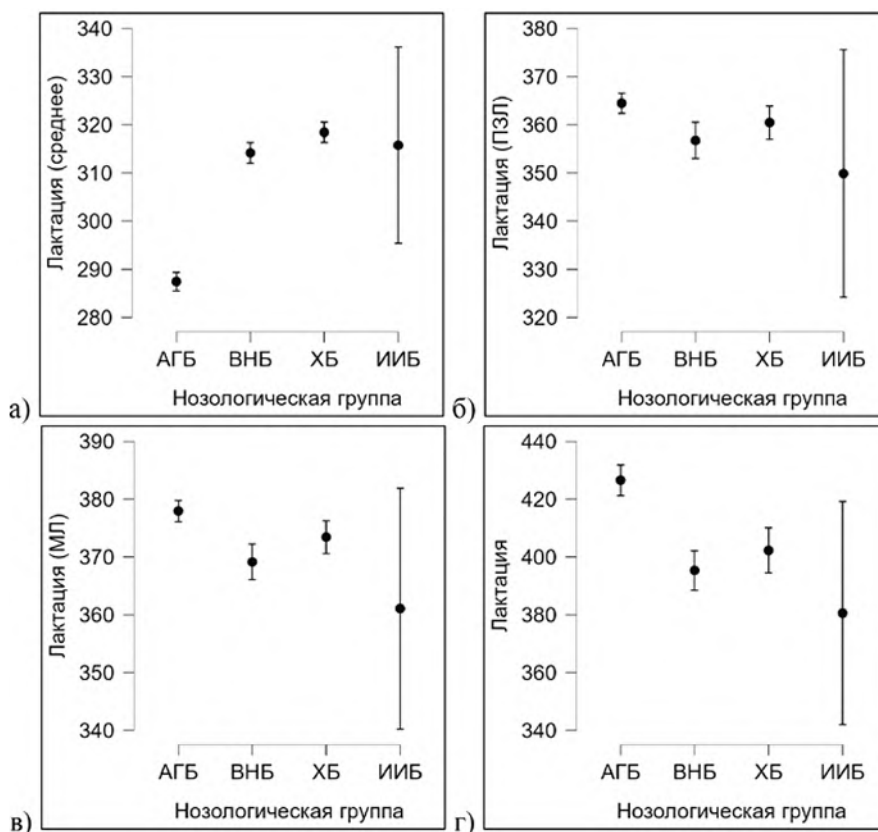
Таблица 1. Продолжительность периодов продуктивного и репродуктивного цикла
Table 1. Length of productive and reproductive cycle phases

Показатель	Группа животных (n = 33982)	
	Первотелки (n = 8067)	Коровы (n = 25915)
Продолжительность лактации (количество дойных дней), дни	401,18	345,74
Продолжительность сухостойного периода, дни	–	62,60
Продолжительность периода от отела до первого осеменения, дни	98,08	86,32
Продолжительность периода от отела до первого плодотворного осеменения (сервис-период), дни	160,75	146,27
Продолжительность межотельного периода, дни	–	415,30

ХБ — 318,40 дней. Рассматривая изучаемый показатель в разрезе ПЗЛ и МЛ, стоит отметить, что максимальные величины продолжительности лактации были характерны для коров, выбывших по причине АГБ — 364,50 и 377,90 дней соответственно, тогда как минимальные — для животных, выбракованных в результате ИИБ — 349,90 и 361,10 дней соответственно. При проведении попарного сравнения значений продолжительности лактации (в среднем и за ПЗЛ) у коров в разрезе нозологий различных групп по критерию Геймса-Хоуэлла установили наличие отдельных статистически значимых различий. Так, различия среднего значения продолжительности лактации в группе коров, выбывших в результате АГБ и ВНБ, составляло -26,72 дня ($t = -18,18$, $p < 0,001$),

Рис. 3. Продолжительность лактации (количество дойных дней) у выбракованных коров (а, б, в) и первотелок (г) (n = 33982)

Fig. 3. Lactation length (number of milking days) in culled cows (a, б, в) and heifers (г) (n = 33982)



а при сравнении АГБ и ХБ величина различий соответствовала -31,00 дню ($t = -21,32$, $p < 0,001$), при сравнении АГБ и ИИБ различия составили -28,32 дня ($t = -2,711$, $p = 0,039$). Различия в группах ВНБ и ХБ также были значимыми при разнице средних значений -4,28 дня ($t = -2,786$, $p = 0,027$). Если рассматривать продолжительность лактации с точки зрения ПЗЛ, то значимыми видятся различия в паре нозологических групп АГБ и ВНБ при более высокой величине показателя при выбраковке по причине АГБ — разница средних составила 7,744 ($t = 3,548$, $p = 0,002$). Для выявления различий между группами в разрезе МЛ после проведения однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) был выполнен апостериорный анализ (post-hoc) с использованием метода Тьюки (HSD), который позволил скорректировать уровень значимости. Анализ показал наличие статистически значимых различий в продолжительности лактации между группами первотелок, выбывших вследствие АГБ и ВНБ — разница 5,180. Анализ остальных групп не позволил выявить статистически значимых различий при выбранном способе коррекции, а величины p -value превышали порог статистической значимости 0,05.

Средняя продолжительность лактации у выбракованных первотелок (рис. 3г) составила 401,18 дней. Необходимо выделить наибольшую ее продолжительность у особей, выбывших по причине АГБ, тогда, как наименьшая была

характерна для животных, выбракованных в результате ИИБ — 426,50 и 380,60 дней соответственно. Попарным сравнением с применением критерия Геймса-Хоуэлла выявили статистически значимые различия для 2 пар нозологических групп. Так, средний показатель в группе животных, выбывших в результате АГБ, был значимо выше аналогичного при ВНБ и ХБ — разница средних составила 31,21 ($t = 7,070$, $p < 0,001$) и 24,27 ($t = 5,044$, $p < 0,001$) дней.

Длительность сухостойного периода занимает третье место по степени влияния на показатели надоя и качества молока. При этом исследования выявили два различных оптимума: максимальные удои и содержание лактозы отмечались при 50-дневном периоде, а пиковые значения содержания жира, белка и сухого ве-

щества — при его продолжительности в 38–44 дня [43]. Применение индивидуальных стратегий в определении длительности сухостоя дает возможность нейтрализовать риски для молочной продуктивности и здоровья вымени, параллельно открывая возможности для оптимизации энергетического баланса и показателей оплодотворяемости [44]. Использование стандартного по длительности сухостойного периода наиболее надежно обеспечивает три ключевых результата: высокую продуктивность в следующей лактации, улучшение показателей воспроизводства и снижение вероятности раннего выбытия коров из стада [45].

Средняя продолжительность сухостойного периода у выбракованных коров составила 62,21 дня, с максимальным значением у животных, выбывших по причине ИИБ, — 65,43 дня и минимальным — у особей, выбракованных в результате АГБ. Наблюдаемое касалось и коров, выбывших вследствие АГБ и ИИБ, но в разрезе ПЗЛ с соответствующими значениями 65,38 и 60,84 дней, тогда как, с точки зрения МЛ, наибольшая величина была свойственна коровам, выбракованным по причине ИИБ (67,12 дней), а минимальная — животным, выбывшим в результате ХБ, — 61,56 дней. Статистический анализ с поправкой на множественные сравнения (критерий Геймса-Хоуэлла) показал, что различия между группами, обусловленные теми или иными

нозологиями, не достигали статистической значимости.

Отмечалось, что более продолжительный период восстановления после отела перед осеменением благоприятно влияет на здоровье коров и на эффективность воспроизводства [46].

Средняя продолжительность периода от отела до первого осеменения у выбывших коров (рис. 4) составила 85,06 дней, в том числе с точки зрения ПЗЛ и МЛ — 82,86 и 91,63 дней соответственно. Минимальные значения средней продолжительности данного периода характерны животным, выбракованным в результате ИИБ, — 82,97 дней, тогда как максимальные — коровам, выбывшим по причине ХБ, — 87,67 дней. Наименьшие и наибольшие значения за ПЗЛ и МЛ составили 78,90 и 86,75 дня соответственно в части ПЗЛ, а также 87,23 и 98,91 дней соответственно в части МЛ. Попарным сравнением значений продолжительности периода от отела до первого осеменения (в среднем за лактации и за МЛ) у коров в разрезе нозологий различных групп по критерию Геймса-Хоуэлла установили значимые различия в 2 парах нозологических групп — АГБ и ХБ, а также ВНБ и ХБ. Если, с точки зрения средней продолжительности этого показателя за все лактации, различия средних у выбракованных коров составили -2,179 ($t = -3,096$, $p = 0,011$) и -3,568 ($t = -4,569$, $p < 0,001$) дня соответственно, то, с точки зрения МЛ, — уже -6,005 ($t = -3,121$, $p = 0,010$) и -7,639 ($t = -3,925$, $p < 0,001$) дня соответственно. При рассмотрении продолжительности периода от отела до первого осеменения у выбывших коров с позиции ПЗЛ стоит отметить, что значимые различия по изучаемому показателю, помимо вышеупомянутых пар, отмечены у особей, выбракованных также и вследствие АГБ и ВНБ. Если при сравнении значений в паре АГБ и ХБ, а также ВНБ и ХБ разница средних составляла -3,142 ($t = -2,874$, $p = 0,021$) и -5,566 ($t = -4,664$, $p < 0,001$) дней, то между значениями при АГБ и ВНБ разница средних имела величину 2,423 дня ($t = 2,650$, $p = 0,040$).

Период от отела до первого осеменения у выбракованных первотелок оказался на 15,31% продолжительнее, чем у коров, и составил 98,08 дней. При этом минимальная величина была отмечена у

особей, выбывших в результате АГБ, — 92,21 дня, а максимальная — у животных, выбракованных по причине ИИБ, — 108,70 дней. Попарно сравнивая средние значения по критерию Геймса-Хоуэлла, не удалось установить значимые различия в продолжительности данного периода у первотелок, выбывших в результате болезней той или иной группы нозологий.

Уровень воспроизводства коров напрямую зависит от длительности сервис-периода. Наблюдается обратная зависимость: увеличение его продолжительности ведет к снижению коэффициента воспроизводительной способности (КВС) [47]. Более длительный сервис-период оптимален для первотелок. Это дает двойной положительный эффект: улучшает показатели воспроизводства и уменьшает надой перед запуском, не ставя под угрозу общую молочную продуктивность и длительность сухостойного периода [48].

При рассмотрении продолжительности сервис-периода у выбракованных коров (рис. 5а-в) обращает на себя внимание тот факт, что независимо от того, среднее ли это значение за лактации, либо значение, полученное за ПЗЛ и МЛ, максимальные его величины наблюдали у животных, выбывших в результате АГБ, а минимальные — в случае выбраковки особей по причине ИИБ. В целом наибольшие значения отмечены при рассмотрении показателя в разрезе МЛ — 163,20 и 145,00 дней соответственно. Статистический анализ попарных различий между нозологическими группами коров, проведенный с помощью t-теста с поправкой Геймса-Хоуэлла, показал наличие значимых связей в 3 парах нозологических групп, независимо от градации изучаемого показателя (в среднем за все лактации, ПЗЛ и МЛ): АГБ и ВНБ, АГБ и ХБ, ВНБ и ХБ. Так, если рассматривать средние величины продолжительности сервис-периода за все лактации, то в паре АГБ и ВНБ наблюдали разницу средних 9,900 дней ($t = 9,226$, $p < 0,001$), тогда как в парах АГБ и ХБ, а также ВНБ и ХБ эти различия составили 4,076 ($t = 3,528$, $p = 0,002$) и -5,824 ($t = -4,524$, $p < 0,001$) дня соответственно. С точки зрения ПЗЛ, разница средних значений в группах коров, выбракованных в результате АГБ и ВНБ, также АГБ и ХБ, составляла 19,07 ($t = 10,99$,

Рис. 4. Продолжительность периода от отела до первого осеменения у выбракованных коров (n = 25915)

Fig. 4. Duration of the period from calving to first insemination in culled cows (n = 25915)

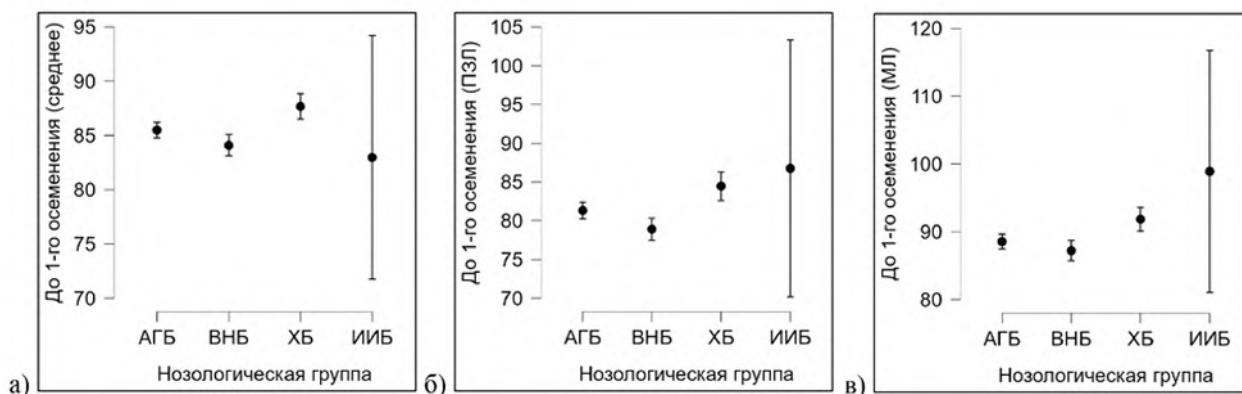
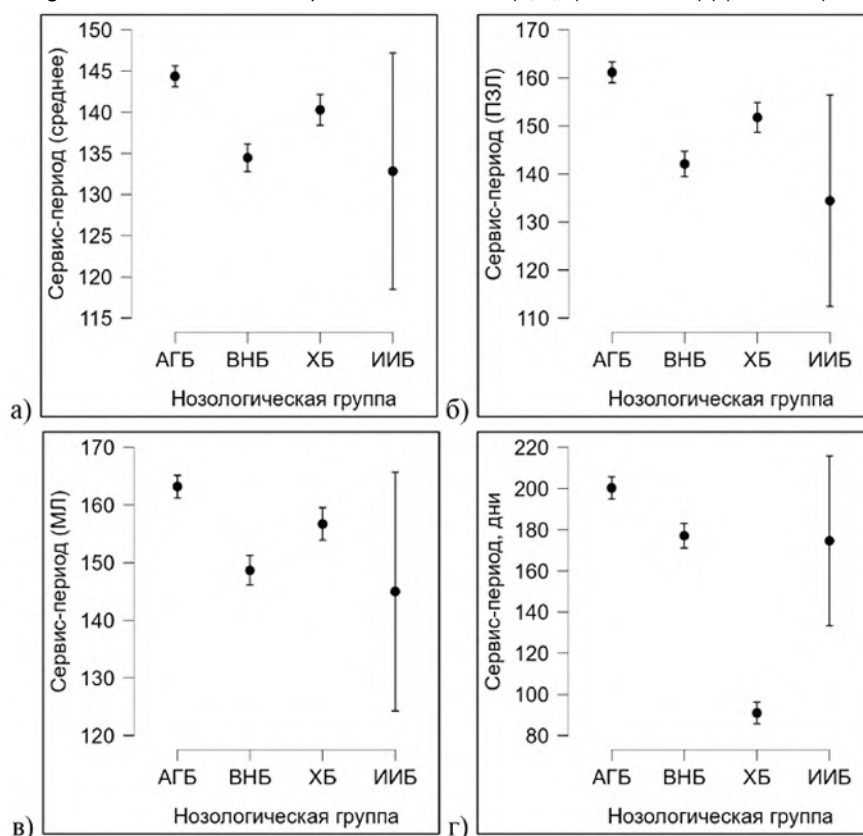


Рис. 5. Продолжительность сервис-периода у выбракованных коров (а, б, в) и первотелок (г) (n = 33982)

Fig. 5. Duration of the service period in culled cows (а, б, в) and heifers (г) (n = 33982)



$p < 0,001$) и 9,385 ($t = 4,868$, $p < 0,001$) дня, в то время как в паре ВНБ и ХБ разница средних имела величину -9,687 ($t = -4,661$, $p < 0,001$). Разница средних между нозологическими группами АГБ и ВНБ, а также АГБ и ХБ при рассмотрении продолжительности сервис-периода в разрезе МЛ составила соответственно 14,51 ($t = 8,844$, $p < 0,001$) и 6,480 ($t = 3,703$, $p = 0,001$) дня, тогда как в паре ВНБ и ХБ имела место разница средних, равная -8,035 ($t = -4,155$, $p < 0,001$).

Выбывшие в результате болезней первотелки (рис. 5г) характеризовались средней продолжительностью сервис-периода 160,75 дней, при этом наибольшей величиной отличались особи, выбракованные по причине АГБ, — 200,30 дней. У выбракованных первотелок аналогичные попарные

сравнения выявили наличие значимых различий в 4 парах нозологических групп. Так, разница средних между группами АГБ и ВНБ, а также группами АГБ и ХБ составила 23,19 ($t = 5,666$, $p < 0,001$) и 109,30 ($t = 28,34$, $p < 0,001$) дней соответственно, тогда как различия средних между группами нозологий, таких как ВНБ и ХБ, составляли 86,13 ($t = 21,34$, $p < 0,001$) и -83,66 ($t = -3,947$, $p = 0,002$) дней соответственно.

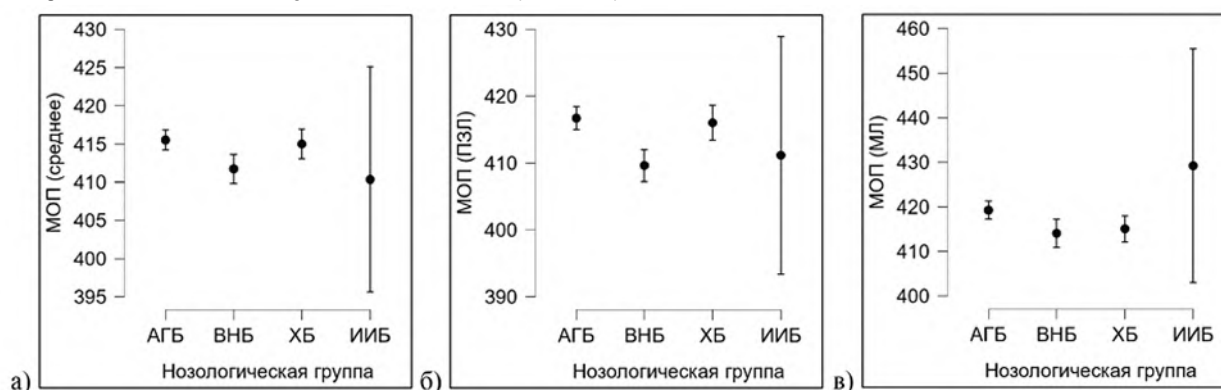
Важно уточнить следующие технологические моменты: искусственное создание лактационной доминанты, а также повсеместное использование плановых синхронизаций коров на предприятиях могут привести к формированию больших величин продолжительности изучаемого периода. В связи с этим, полученные числовые значения могли бы быть меньше, а установленные значения могут казаться завышенными

в связи с искусственно удлиненным сервис-периодом и преобладанием лактационной доминанты над половой доминантой. Длительность межотельного периода является важным экономическим фактором, напрямую влияющим на рентабельность молочного производства [49]. Превышение межотельного периода у коров свыше 370 дней приводит к снижению среднегодового удоя по стаду на 0,3–0,4% от его фактического уровня [50]. Кроме этого, увеличение затрат на содержание животных является прямым следствием удлинения периода между отелами [51].

Исследованиями установили, что продолжительность данного периода у выбракованных коров (рис. 6) как в среднем за все лактации, так

Рис. 6. Продолжительность межотельного периода у выбракованных коров (n = 25915)

Fig. 6. Duration of the calving interval in culled cows (n = 25915)



за ПЗЛ существенно не отличалась и составляла 413,50 и 413,38 дней соответственно, тогда как в разрезе МЛ оказалась несколько выше и составляла 419,38 дней. Наибольшие значения как в среднем за все лактации, так и за ПЗЛ отмечены у особей, выбывших в результате АГБ — 415,50 и 416,70 дней соответственно, в то время как в разрезе МЛ наибольшей величиной характеризовались коровы, выбракованные вследствие ИИБ — 429,20 дней. Минимальные значения продолжительности межотельного периода в среднем за все лактации у выбракованных животных выявлены в случае ИИБ — 410,40 дней, тогда как при рассмотрении данного показателя, с точки зрения ПЗЛ и МЛ, — при ВНБ (409,60 и 414,00 дней соответственно). Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) в разрезе всех лактации в среднем, а также за МЛ показал наличие значимых связей между такими нозологическими группами, как АГБ и ВНБ, причем различия средних при этом составляли 3,790 ($t=3,277$) и 5,232 ($t=2,844$) дня соответственно. Апостериорным анализом (post-hoc) с использованием метода Тьюки (HSD) выявлены следующие уровни статистической значимости для вышеуказанных показателей — $p=0,006$ и $p=0,023$ соответственно. Применение апостериорного теста Геймса-Хоуэлла позволило выявить наличие значимых различий в продолжительности межотельного периода у коров в двух парах нозологических групп в разрезе ПЗЛ: АГБ и ВНБ, а также ВНБ и ХБ. Разница средних составляла 7,095 ($t=4,720$, $p<0,001$) и -6,411 ($t=-3,549$, $p=0,002$) дней соответственно.

Выводы/Conclusions

Получены новые знания о влиянии этиологической структуры заболеваний на продолжительность отдельных периодов продуктивного и репродуктивного цикла коров и первотелок, выбракованных из стад сельскохозяйственных предприятий: количество дойных дней, продолжительность сухостойного, межотельного и сервис-периодов, продолжительность периода от отела до первого осеменения (в том числе

средние показатели за все лактации, последнюю законченную и максимальную лактацию). Продолжительность лактации выбракованных первотелок составляла в среднем 401,18 день; продолжительность периода от отела до первого осеменения — 98,08 дней; продолжительность периода от отела до первого плодотворного осеменения (сервис-период) — 160,75 дней. Продолжительность лактации у выбывших коров составляла в среднем 345,74 дня; продолжительность сухостойного периода — 62,60 дня; продолжительность периода от отела до первого осеменения — 86,32 дня; продолжительность периода от отела до первого плодотворного осеменения (сервис-период) — 146,27 дней; продолжительность межотельного периода — 415,30 дней. У выбракованных первотелок имелись значимые связи продолжительности лактации между группами нозологий — акушерско-гинекологических болезней с внутренними незаразными болезнями и хирургическими болезнями; продолжительности сервис-периода между группами нозологий — акушерско-гинекологических болезней с внутренними незаразными и хирургическими болезнями, внутренних незаразных болезней с хирургическими болезнями, хирургических болезней с инфекционными и инвазионными болезнями. У выбывших дойных коров наиболее часто значимые различия продолжительности периодов продуктивного и репродуктивного цикла наблюдались в парах значений характерных для акушерско-гинекологических болезней в сравнении таковыми при внутренних незаразных болезнях. Если рассматривать показатели за все лактации в среднем, то с равной частотой значимые различия выявлены в парах акушерско-гинекологических болезней с внутренними незаразными и хирургическими болезнями, а также внутренних незаразных болезней с хирургическими. С точки зрения последней законченной лактации и максимальной лактации, между величинами при акушерско-гинекологических болезнях с внутренними незаразными болезнями.

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 агробиоценозов и агроэкосистем для производства экологически безопасной и функциональной продукции» (125031003428-9).

FUNDING

The research 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

1. Egger-Danner C. *et al.* Invited review: overview of new traits and phenotyping strategies in dairy cattle with a focus on functional traits. *Animal*. 2015; 9(2): 191–207. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002614>
2. Ratoshny A.N., Soldatov A.A., Kononenko S.I., Tuzov I.N., Koshchaev A.G. Organization of feeding dairy cows for preventing metabolic disorders. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018; 10(12): 3273–3276. EDN OMAPVM

REFERENCES

1. Egger-Danner C. *et al.* Invited review: overview of new traits and phenotyping strategies in dairy cattle with a focus on functional traits. *Animal*. 2015; 9(2): 191–207. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002614>
2. Ratoshny A.N., Soldatov A.A., Kononenko S.I., Tuzov I.N., Koshchaev A.G. Organization of feeding dairy cows for preventing metabolic disorders. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018; 10(12): 3273–3276. EDN OMAPVM

3. Heise J., Liu Z., Stock K.F., Rensing S., Reinhardt F., Simianer H. The genetic structure of longevity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(2): 1253–1265. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10163>
4. Tohumcu V., Tulan Tohumcu D. The economic optimization of lactation and fertility in dairy cows. *CABI Reviews*. 2024; 19(1). <https://doi.org/10.1079/cabireviews.2024.0040>
5. Senbeta E.K., Abebe A.S., Gibe A.W. Effect of parity on service per conception, gestation length, milk yield, calving interval, and calf birth weight of crossbred dairy cows. *Archives of Veterinary Science*. 2024; 29(2): 94325. <https://doi.org/10.5380/avs.v29i2.94325>
6. Kıyıcı J.M., Köknur Ö., Kaliber M. Dry Period in Cattle: I. Influence on Milk Yield and Reproductive Performance. *Journal of Agricultural Sciences*. 2020; 26(3): 324–330. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.512466>
7. Хромова О.Л., Бургомистрова О.Н. Продолжительность лактации и хозяйственного использования высокопродуктивных коров черно-пестрой породы. *АгроЗооТехника*. 2023; 6(2). <https://doi.org/10.15838/alt.2023.6.2.3>
8. Lim D.-H., Jung D.J.S., Ki K.-S., Kim D.-H., Han M., Kim Y. Effects of dry period length on milk production and physiological responses of heat-stressed dairy cows during the transition period. *Journal of Animal Science and Technology*. 2023; 65(1): 197–208. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e104>
9. Pattamanont P., Galvão K.N., Marcondes M.I., Clay J.S., De Vries A. Associations between dry period length and time to culling and pregnancy in the subsequent lactation. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(8): 8885–8900. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20119>
10. Jukna V., Meškinytė E., Antanaitis R., Juozaitienė V. Association of Dry Period Length with Automatic Milking System, Mastitis, and Reproductive Indicators in Cows. *Animals*. 2024; 14(14): 2065. <https://doi.org/10.3390/ani14142065>
11. Kıyıcı J.M., Köknur Ö., Kaliber M. Dry Period Length in Dairy Cattle: II. Influence on Calf Survival and Growth Performance. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*. 2022; 25(S1): 300–306. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1013499>
12. Баймишев Х.Б., Баймишев М.Х., Нечаев А.В., Пристяжнюк О.Н. Молочная продуктивность, воспроизводительная способность коров с разным периодом продолжительности сухостоя. Инновационные научные исследования. 2022; (2-2): 34–42. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6368915>
13. Сачук Р.М., Жыгало С.В., Стравский Я.С., Никитинский П.А., Кацараба О.А. Диагностика метаболических нарушений в организме коров в период сухостоя. *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак почета» государственная академия ветеринарной медицины»*. 2019; 55(1): 85–88. EDN VZOODZ
14. Кузьмина Л.Н., Карташова А.П., Кузьмин С.С. Нормализация белкового и углеводного питания высокопродуктивных коров в период сухостоя. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023; 24(5): 820–829. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.820-829>
15. Hansson A., Holtenius K., Båge R., Lindberg M., Kronqvist C. Effect of voluntary waiting period length on milk yield, fertility, and culling in high-yielding, second-parity cows. *Journal of Dairy Science*. 2025; 108(12): 13416–13424. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26348>
16. Stangaferro M.L., Wijma R., Masello M., Thomas M.J., Giordano J.O. Extending the duration of the voluntary waiting period from 60 to 88 days in cows that received timed artificial insemination after the Double-Ovsynch protocol affected the reproductive performance, herd exit dynamics, and lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(1): 717–735. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13046>
17. Burgers E.E.A. et al. Effect of voluntary waiting period on metabolism of dairy cows during different phases of the lactation. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: skad194. <https://doi.org/10.1093/jas/skad194>
18. Лейбова В.Б. Особенности биохимического профиля крови коров в сухостойный период с разной молочной продуктивностью и интервалом от отела до первого осеменения. *Ветеринария*. 2018; (7): 46–48. EDN XSVJRJ
19. Ro Y. et al. Pilot Study: Exploring the Feasibility of Individual Voluntary Waiting Period Settings Using Postpartum Recovery Indicators in Dairy Cows. *Animals*. 2025; 15(22): 3331. <https://doi.org/10.3390/ani15223331>
20. El-Hedainy D.K., Ramadan R.M., Saleh A.A., Sharaby M.A., Rashad A.M.A. Retrospective Investigation of the Association Between the Length of Dry Period and Lactation Milk Production and Lifetime Traits During the Subsequent Lactations. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 2023; 13(8): 1512–1515.
3. Heise J., Liu Z., Stock K.F., Rensing S., Reinhardt F., Simianer H. The genetic structure of longevity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(2): 1253–1265. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10163>
4. Tohumcu V., Tulan Tohumcu D. The economic optimization of lactation and fertility in dairy cows. *CABI Reviews*. 2024; 19(1). <https://doi.org/10.1079/cabireviews.2024.0040>
5. Senbeta E.K., Abebe A.S., Gibe A.W. Effect of parity on service per conception, gestation length, milk yield, calving interval, and calf birth weight of crossbred dairy cows. *Archives of Veterinary Science*. 2024; 29(2): 94325. <https://doi.org/10.5380/avs.v29i2.94325>
6. Kıyıcı J.M., Köknur Ö., Kaliber M. Dry Period in Cattle: I. Influence on Milk Yield and Reproductive Performance. *Journal of Agricultural Sciences*. 2020; 26(3): 324–330. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.512466>
7. Khromova O.L., Burgomistрова O.N. Duration of Lactation and Economic Use of Highly Productive Black-Motley Cows. *Agricultural and Livestock Technology*. 2023; 6(2) (in Russian). <https://doi.org/10.15838/alt.2023.6.2.3>
8. Lim D.-H., Jung D.J.S., Ki K.-S., Kim D.-H., Han M., Kim Y. Effects of dry period length on milk production and physiological responses of heat-stressed dairy cows during the transition period. *Journal of Animal Science and Technology*. 2023; 65(1): 197–208. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e104>
9. Pattamanont P., Galvão K.N., Marcondes M.I., Clay J.S., De Vries A. Associations between dry period length and time to culling and pregnancy in the subsequent lactation. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(8): 8885–8900. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20119>
10. Jukna V., Meškinytė E., Antanaitis R., Juozaitienė V. Association of Dry Period Length with Automatic Milking System, Mastitis, and Reproductive Indicators in Cows. *Animals*. 2024; 14(14): 2065. <https://doi.org/10.3390/ani14142065>
11. Kıyıcı J.M., Köknur Ö., Kaliber M. Dry Period Length in Dairy Cattle: II. Influence on Calf Survival and Growth Performance. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*. 2022; 25(S1): 300–306. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1013499>
12. Baymishv Kh.B., Baymishv M.Kh., Nechaev A.V., Pristayzhnyuk O.N. Milk productivity, reproduction ability of cows with different periods dry lengths. *Innovative scientific research*. 2022; (2-2): 34–42 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6368915>
13. Sachuk R.M., Zhyhalyuk S.V., Stravsky Ya.S., Nikitinsky P.A., Katsaraba O.A. Diagnostics of metabolic mists in organism of cows in a dry period. *Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of 'the Badge of Honor' State Academy of Veterinary Medicine"*. 2019; 55(1): 85–88 (in Russian). EDN VZOODZ
14. Kuzmina L.N., Kartashova A.P., Kuzmin S.S. Normalization of protein and carbohydrate nutrition for high productive cows during a dry period. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24(5): 820–829 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.820-829>
15. Hansson A., Holtenius K., Båge R., Lindberg M., Kronqvist C. Effect of voluntary waiting period length on milk yield, fertility, and culling in high-yielding, second-parity cows. *Journal of Dairy Science*. 2025; 108(12): 13416–13424. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26348>
16. Stangaferro M.L., Wijma R., Masello M., Thomas M.J., Giordano J.O. Extending the duration of the voluntary waiting period from 60 to 88 days in cows that received timed artificial insemination after the Double-Ovsynch protocol affected the reproductive performance, herd exit dynamics, and lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(1): 717–735. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13046>
17. Burgers E.E.A. et al. Effect of voluntary waiting period on metabolism of dairy cows during different phases of the lactation. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: skad194. <https://doi.org/10.1093/jas/skad194>
18. Leibova V.B. The biochemical profile of the blood of cows in the dry period in connection with the interval from the ovulation to the first insemination and the milk productivity in the subsequent lactation. *Veterinary medicine*. 2018; (7): 46–48 (in Russian). EDN XSVJRJ
19. Ro Y. et al. Pilot Study: Exploring the Feasibility of Individual Voluntary Waiting Period Settings Using Postpartum Recovery Indicators in Dairy Cows. *Animals*. 2025; 15(22): 3331. <https://doi.org/10.3390/ani15223331>
20. El-Hedainy D.K., Ramadan R.M., Saleh A.A., Sharaby M.A., Rashad A.M.A. Retrospective Investigation of the Association Between the Length of Dry Period and Lactation Milk Production and Lifetime Traits During the Subsequent Lactations. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 2023; 13(8): 1512–1515.

21. Нарышкина Е.Н., Игнатиева Л.П., Зарипов О.Г., Лашнева И.А., Корнелаева М.В., Сермягин А.А. Селекционно-генетические параметры продолжительности сервис-периода коров симментальской породы в разных Федеральных округах Российской Федерации. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2024; (4): 129–134. EDN KJRIRD
22. Беленькая А.Е. Продуктивность коров голштинской породы в зависимости от продолжительности сервис-периода. *Мир Инноваций*. 2017; (2): 7–10. EDN ZGWNIP
23. Васильева Н.В. Влияние сервис-периода на молочную продуктивность голштинизированных коров в ООО КХ «Виктория». *Аграрный вестник Приморья*. 2020; (3): 48–50. EDN IIIVBR
24. Литвиненко Н.В., Туаева Е.В., Согорин С.А. Влияние продолжительности сервис-периода на молочную продуктивность коров красно-пестрой породы в условиях Приамурья. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2020; (4): 163–168. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.61.4.025>
25. Чеченихина О.С., Степанов А.В., Быкова О.А., Аксенова О.Н. Влияние продолжительности сервис-периода коров на показатели их продуктивного долголетия. *Животноводство и кормопроизводство*. 2019; 102(4): 138–149. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-102-4-138>
26. Сейдахметов Б.С., Мороз Т.А., Дунин М.И. Сервис-период и продуктивность коров молочных пород Российской Федерации. *Зоотехния*. 2021; (2): 28–30. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.47.91.008>
27. Гилемханов И.Ю., Загидуллин Л.Р., Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Шайдуллин Р.Р. Влияние сервис-периода и генотипа у коров на молочную продуктивность и качество молока. *Научный альманах*. 2021; (7-1): 103–107. EDN CYWYRB
28. van Knegsel A.T.M., Burgers E.E.A., Ma J., Goselink R.M.A., Kok A. Extending lactation length: consequences for cow, calf, and farmer. *Journal of animal science*. 2022; 100(10): skac220. <https://doi.org/10.1093/jas/skac220>
29. Гогаев О.К., Кадиева Т.А., Демурова А.Р., Абдурахимова А.Н. Влияние сервис-, сухостойного и межотельного периодов на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы. *Научная жизнь*. 2016; (2): 178–185. EDN VXMJXB
30. Стрельцов В.А. Влияние продолжительности межотельного периода на молочную продуктивность коров. *Вестник Брянской ГСХА*. 2022; (3): 31–35. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-91-3-31-35>
31. Wang Y. *et al.* Effects of calving interval of dairy cows on development, metabolism, and milk performance of their offspring. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(11): 9934–9947. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24885>
32. Avilés-Ruiz R., Barrón-Bravo O.G., Ruiz-Albarrán M., Garza-Cedillo R.D. Parity affects calving interval in dual-purpose cattle in the Mexican tropics. *The Pharma Innovation Journal*. 2023; 12(3): 1–4. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i3a.18792>
33. Cesarani A. *et al.* Variance components using genomic information for 2 functional traits in Italian Simmental cattle: Calving interval and lactation persistency. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(6): 5227–5233. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17421>
34. Ogawa S., Satoh M. Random Regression Analysis of Calving Interval of Japanese Black Cows. *Animals*. 2021; 11(1): 202. <https://doi.org/10.3390/ani11010202>
35. Atashi H. *et al.* A Genome-Wide Association Study for Calving Interval in Holstein Dairy Cows Using Weighted Single-Step Genomic BLUP Approach. *Animals*. 2020; 10(3): 500. <https://doi.org/10.3390/ani10030500>
36. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Шакиров Ш.К., Фаттахова З.Ф. Ассоциация полиморфизма гена лептин (LEP) с показателями воспроизводства голштинского скота отечественной и зарубежной селекции при различных технологиях доения и способах содержания. *Аграрный научный журнал*. 2022; (12): 58–61. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp58-61>
37. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Зиннатова Ф.Ф., Шакиров Ш.К. Связь полиморфизма гена PIT-1 (POU1F1) с признаками молочной продуктивности и воспроизводительной способности голштинского крупного рогатого скота. *Достижения науки и техники АПК*. 2019; 33(11): 69–73. EDN GMLDLP
38. Горелик О.В., Федосеева Н.А., Харлап С.Ю., Горелик Л.Ш. Возрастные особенности лактационной деятельности коров. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2024; (4): 88–94. EDN FTEXSX
21. Naryshkina E.N., Ignatieva L.P., Zaripov O.G., Lashneva I.A., Kornelaeva M.V., Sermyagin A.A. Selection and genetic parameters for days open duration of simmental cows in different federal districts of the Russian Federation. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2024; (4): 129–134 (in Russian). EDN KJRIRD
22. Belen'kaya A.E. Productivity of Holstein cows depending on the duration of the service period. *World of innovation*. 2017; (2): 7–10 (in Russian). EDN ZGWNIP
23. Vasilieva N.V. Influencing of the service period on the milk production of holsteined cows in farm Viktoria. *Agrarnyy vestnik Primor'ya*. 2020; (3): 48–50 (in Russian). EDN IIIVBR
24. Litvinenko N., Tuaeva E., Sogorin S. The effect of service period length on milk yield of Red-Motley breed cows in the Amur region. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2020; (4): 163–168 (in Russian). <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.61.4.025>
25. Chechenikhina O.S., Stepanov A.V., Bykova O.A., Aksenova O.N. The impact of duration of service period of cows on indicators of their productive longevity. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019; 102(4): 138–149 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-102-4-138>
26. Seidakhmetov B.S., Moroz T.A., Dunin M.I. Service period and productivity of dairy cows in the Russian Federation. *Zootekhnika*. 2021; (2): 28–30 (in Russian). <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.47.91.008>
27. Gilemhanov I.Yu., Zagidullin L.R., Ahmetov T.M., Tyulkin S.V., Shaydullin R.R. The influence of the service period and genotype in cows on milk productivity and milk quality. *Scientific almanac*. 2021; (7-1): 103–107 (in Russian). EDN CYWYRB
28. van Knegsel A.T.M., Burgers E.E.A., Ma J., Goselink R.M.A., Kok A. Extending lactation length: consequences for cow, calf, and farmer. *Journal of animal science*. 2022; 100(10): skac220. <https://doi.org/10.1093/jas/skac220>
29. Gogaev O.K., Kadieva T.A., Demurova A.I.B.R., Abdurakhimova A.N. Impact of service, dry and intercalving periods on the dairy productivity of black-motley breed cows. *Scientific life*. 2016; (2): 178–185 (in Russian). EDN VXMJXB
30. Streltsov V.A. Dependence of milk productivity of cows on the calving intervals. *Vestnik Bryansk State Agricultural Academy*. 2022; (3): 31–35 (in Russian). <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-91-3-31-35>
31. Wang Y. *et al.* Effects of calving interval of dairy cows on development, metabolism, and milk performance of their offspring. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(11): 9934–9947. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24885>
32. Avilés-Ruiz R., Barrón-Bravo O.G., Ruiz-Albarrán M., Garza-Cedillo R.D. Parity affects calving interval in dual-purpose cattle in the Mexican tropics. *The Pharma Innovation Journal*. 2023; 12(3): 1–4. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i3a.18792>
33. Cesarani A. *et al.* Variance components using genomic information for 2 functional traits in Italian Simmental cattle: Calving interval and lactation persistency. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(6): 5227–5233. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17421>
34. Ogawa S., Satoh M. Random Regression Analysis of Calving Interval of Japanese Black Cows. *Animals*. 2021; 11(1): 202. <https://doi.org/10.3390/ani11010202>
35. Atashi H. *et al.* A Genome-Wide Association Study for Calving Interval in Holstein Dairy Cows Using Weighted Single-Step Genomic BLUP Approach. *Animals*. 2020; 10(3): 500. <https://doi.org/10.3390/ani10030500>
36. Gaynutdinova E.R., Safina N.Yu., Shakirov Sh.K., Fattakhova Z.F. Association of leptin (LEP) gene polymorphism with reproduction traits of domestic and imported Holstein cattle in different milking technologies and housing conditions. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; (12): 58–61 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp58-61>
37. Gaynutdinova E.R., Safina N.Yu., Zinnatova F.F., Shakirov Sh.K. Relationship between PIT-1 (POU1F1) Gene Polymorphism with Milk Productivity and Reproductive Capacity of Holstein Cattle. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2019; 33(11): 69–73 (in Russian). EDN GMLDLP
38. Gorelik O.V., Fedoseeva N.A., Kharlap S.Yu., Gorelik L.Sh. Age-related features of lactation activity of cows. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2024; (4): 88–94 (in Russian). EDN FTEXSX

39. Крупин Е.О. Интерьерные показатели выбракованных животных в зависимости от группы нозологий. *Аграрный научный журнал*. 2024; (7): 71–76.
https://doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp71-76
40. Крупин Е.О. Взаимосвязь величины молочной продуктивности, содержания в молоке массовых долей жира и белка с показателями выбраковки коров. *Аграрная наука*. 2025; (8): 19–25.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-19-25
41. Innes D.J. *et al.* Fitting mathematical functions to extended lactation curves and forecasting late-lactation milk yields of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(1): 342–358.
https://doi.org/10.3168/jds.2023-23478
42. Guadagnini M., Amodeo P., Biscarini F., Bolli A., Moroni P. Observational study on dry period length and its associations with milk production, culling risk, and fertility in Italian dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(4): 2630–2641.
https://doi.org/10.3168/jds.2022-22326
43. Dallago G.M. *et al.* The relationship between dry period length and milk production of Holstein dairy cows in tropical climate: a machine learning approach. *Journal of Dairy Research*. 2022; 89(2): 160–168.
https://doi.org/10.1017/S0022029922000425
44. Kok A., van Hoeij R.J., Kemp B., van Kneegsel A.T.M. Evaluation of customized dry-period strategies in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(2): 1887–1899.
https://doi.org/10.3168/jds.2020-18719
45. Overton M.W., Eicker S. Associations between days open and dry period length versus milk production, replacement, and fertility in the subsequent lactation in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2025; 108(4): 3764–3779.
https://doi.org/10.3168/jds.2024-26055
46. Burgers E.E.A., Kok A., Goslinsk R.M.A., Hogeveen H., Kemp B., van Kneegsel A.T.M. Fertility and milk production on commercial dairy farms with customized lactation lengths. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(1): 443–458.
https://doi.org/10.3168/jds.2019-17947
47. Канев П.Н., Горелик О.В. Воспроизводительные качества коров голштинской породы по лактациям. *Биология в сельском хозяйстве*. 2024; (2): 14–18.
EDN BBJLWD
48. Edvardsson Rasmussen A., Holtenius K., Båge R., Strandberg E., Åkerlind M., Kronqvist C. Customized voluntary waiting period before first insemination in primiparous dairy cows: Effect on milk production, fertility, and health. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(11): 9558–9571.
https://doi.org/10.3168/jds.2023-24593
49. Dalcq A.-C. *et al.* The feeding system impacts relationships between calving interval and economic results of dairy farms. *Animal*. 2018; 12(8): 1662–1671.
https://doi.org/10.1017/S1751731117003020
50. Федосеева Н.А., Можяев Е.Е., Санова З.С., Мазуров В.Н., Мышкина М.С. Влияние межотельного периода на молочную продуктивность коров разных пород. *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2016; 21: 19–23.
EDN ZVZXGT
51. Стрельцов В.А. Молочная продуктивность коров в зависимости от продолжительности межотельного периода. *Вестник Брянской ГСХА*. 2017; (4): 35–39.
EDN ZDAXMB
39. Krupin E.O. Interior indicators of culled animals depending on the nosology group. *Agrarian Scientific Journal*. 2024; (7): 71–76 (in Russian).
https://doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp71-76.
40. Krupin E.O. The relationship between the value of milk productivity, the content of fat and protein in milk by mass with the indicators of culling cows. *Agrarian science*. 2025; (8): 19–25 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-19-25
41. Innes D.J. *et al.* Fitting mathematical functions to extended lactation curves and forecasting late-lactation milk yields of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(1): 342–358.
https://doi.org/10.3168/jds.2023-23478
42. Guadagnini M., Amodeo P., Biscarini F., Bolli A., Moroni P. Observational study on dry period length and its associations with milk production, culling risk, and fertility in Italian dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(4): 2630–2641.
https://doi.org/10.3168/jds.2022-22326
43. Dallago G.M. *et al.* The relationship between dry period length and milk production of Holstein dairy cows in tropical climate: a machine learning approach. *Journal of Dairy Research*. 2022; 89(2): 160–168.
https://doi.org/10.1017/S0022029922000425
44. Kok A., van Hoeij R.J., Kemp B., van Kneegsel A.T.M. Evaluation of customized dry-period strategies in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(2): 1887–1899.
https://doi.org/10.3168/jds.2020-18719
45. Overton M.W., Eicker S. Associations between days open and dry period length versus milk production, replacement, and fertility in the subsequent lactation in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2025; 108(4): 3764–3779.
https://doi.org/10.3168/jds.2024-26055
46. Burgers E.E.A., Kok A., Goslinsk R.M.A., Hogeveen H., Kemp B., van Kneegsel A.T.M. Fertility and milk production on commercial dairy farms with customized lactation lengths. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(1): 443–458.
https://doi.org/10.3168/jds.2019-17947
47. Kanev P.N., Gorelik O.V. Reproductive qualities of Holstein cows by lactation. *Biology in Agriculture*. 2024; (2): 14–18 (in Russian).
EDN BBJLWD
48. Edvardsson Rasmussen A., Holtenius K., Båge R., Strandberg E., Åkerlind M., Kronqvist C. Customized voluntary waiting period before first insemination in primiparous dairy cows: Effect on milk production, fertility, and health. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(11): 9558–9571.
https://doi.org/10.3168/jds.2023-24593
49. Dalcq A.-C. *et al.* The feeding system impacts relationships between calving interval and economic results of dairy farms. *Animal*. 2018; 12(8): 1662–1671.
https://doi.org/10.1017/S1751731117003020
50. Fedoseeva N.A., Mozhaev E.E., Sanova Z.C., Mazurov V.N., Myshkina M.S. Influence of the intercalving period on the milk production of cows of different breeds. *Herald of Russian state agrarian correspondence university*. 2016; 21: 19–23 (in Russian).
EDN ZVZXGT
51. Streltsov V.A. Milk productivity of cows depending on the duration of the period between calvings. *Vestnik Bryansk State Agricultural Academy*. 2017; (4): 35–39 (in Russian).
EDN ZDAXMB

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»,
ул. Оренбургский тракт, д. 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

Hamza Ozel¹Baris A. Uslu² ✉Salih Narlıçay²¹Kelkit Doğan Livestock Enterprises Inc., Kelkit, Türkiye²Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

✉ atalayuslu@cumhuriyet.edu.tr

Received by the editorial office: 20.03.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Ozel H., Uslu B.A., Narlıçay S.

Comparative Efficacy of Progesterone-Based Ovulation Synchronization Protocols in Simmental Heifers

ABSTRACT

Relevance. Objective of this study was to synchronize oestrus in Simmental heifers of a specific age on a farm engaged in the sale of pregnant heifers by administering progesterone at various intervals — both in cyclic and acyclic animals — followed by an assessment of the effectiveness of the applied synchronization protocols.

Methodology. The study used one hundred Simmental heifers. From the total livestock, five equal groups were formed by random sampling. Control group (n = 20): monitoring of oestrus signs without any hormonal treatment and threefold insemination. Group 1 (n = 20): Day 0 — GnRH + progesterone implant; Day 5 — implant removal, PGF2α + progesterone administration; Day 8 — GnRH + insemination. Group 2 (n = 20): Day 0 — GnRH + progesterone implant; Day 5 — implant removal, PGF2α + progesterone; Day 8 — GnRH + first insemination and Day 9 — repeated insemination. Group 3 (n = 20): Day 0 — GnRH + progesterone implant; Day 8 — implant removal, PGF2α + progesterone; Day 11 — GnRH + insemination. Group 4 (n = 20): Day 0 — GnRH + progesterone implant; Day 8 — implant removal, PGF2α + progesterone; Day 11 — GnRH + first insemination and Day 12 — GnRH + repeated insemination.

Results. The pregnancy rates in the groups were 30%, 65%, 80%, 30%, and 15%, respectively. The highest rate was recorded in the second group. It has been established that this particular procedure should be recommended to all farms seeking to obtain pregnant heifers.

Key words: heifer, oestrus, synchronization, progesterone, cosynch, pregnancy

For citation: Ozel H., Uslu B.A., Narlıçay S. Comparative Efficacy of Progesterone-Based Ovulation Synchronization Protocols in Simmental Heifers. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 48–55.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-48-55>

Научная статья

Х. Озель¹Б.А. Услу² ✉С. Нарлычай²¹Келкит Доган, ООО «Животноводческие предприятия», Келькит, Турция²Университет Сивас Джумхуриет, Сивас, Турция

✉ atalayuslu@cumhuriyet.edu.tr

Поступила в редакцию: 20.03.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Озель Х., Услу Б.А., Нарлычай С.

Сравнительная эффективность протоколов синхронизации овуляции с прогестероновым имплантатом у тёлочек симментальской породы

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Целью данной работы являлась синхронизация половой охоты у симментальских тёлочек определенного возраста в хозяйстве, занимающемся продажей стельных нетелей. Для этого проводили введение прогестерона с разными временными интервалами — как у циклических, так и у ациклических животных — с последующей оценкой эффективности примененных протоколов синхронизации.

Методика. В исследовании использовали сто голов симментальских тёлочек. Из общего поголовья методом случайной выборки сформировали пять равных групп. Контрольная группа (n = 20): наблюдение за признаками охоты без какого-либо гормонального воздействия и трехкратное осеменение. Группа 1 (n = 20): на 0-й день — имплантат ГнРГ + прогестерон; на 5-й день — удаление имплантата, введение PGF2α + прогестерон; на 8-й день — ГнРГ + осеменение. Группа 2 (n = 20): 0-й день — имплантат ГнРГ + прогестерон; 5-й день — удаление имплантата, PGF2α + прогестерон; 8-й день — ГнРГ + первое осеменение и 9-й день — повторное осеменение. Группа 3 (n = 20): 0-й день — имплантат ГнРГ + прогестерон; 8-й день — удаление имплантата, PGF2α + прогестерон; 11-й день — ГнРГ + осеменение. Группа 4 (n = 20): 0-й день — имплантат ГнРГ + прогестерон; 8-й день — удаление имплантата, PGF2α + прогестерон; 11-й день — ГнРГ + первое осеменение и 12-й день — ГнРГ + повторное осеменение.

Результаты. Частота наступления беременности в группах составила 30, 65, 80, 30 и 15% соответственно. Самый высокий показатель был зарегистрирован во второй группе. Установлено, что именно эту процедуру следует рекомендовать всем фермерским хозяйствам, заинтересованным в получении стельных тёлочек.

Ключевые слова: телки, эструс, синхронизация, прогестерон, косинхронизация, беременность

Для цитирования: Озель Х., Услу Б.А., Нарлычай С. Сравнительная эффективность протоколов синхронизации овуляции с прогестероновым имплантатом у тёлочек симментальской породы. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 48–55 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-48-55>

Introduction / Введение

One of the most important problems in cattle breeding is the inability to impregnate heifers in farms. Unsuccessful inseminations are often carried out because the observation method used to determine estrus in heifers is often insufficient [1]. For this reason, it is recommended to apply fixed-time artificial insemination protocols with estrus synchronization to impregnate heifers in farms [2, 3]. Although these protocols have been developed in beef cattle breeding farms, some aspects are still being investigated [3].

Progesterone induces an artificial luteal phase by prolonging the oestrous cycle. The luteolytic effect of PGF $_{2\alpha}$ and its analogues was first demonstrated in 1972, and progestagens, along with PGF $_{2\alpha}$, began to be used to control the luteal phase [4–6]. Transrectal ultrasonography has made it easier to understand the cycle and follicular wave changes by allowing the monitoring of Cl and follicles on the ovary [7]. In cows, LH secretion is stimulated by GnRH administration, and ovulation or luteinization of the dominant follicle is achieved [8]. The new follicular wave begins within 2–3 days, and the luteal tissue is luteolyzed by PGF $_{2\alpha}$ after 6–7 days [9]. Although this protocol increases oestrous synchronization, it is not so effective in some cows [10, 11].

Progestagens are effective in initiating estrus in heifers during the peripubertal period [12]. Increased progesterone is associated with the restart of the ovarian cycle after puberty and parturition, and stimulates follicular growth and estrogen production [13]. Melengestrol Acetate (MGA)-based programs are effective in synchronizing estrus in peripubertal beef heifers and increase the LH peak frequency [14]. Three methods have been developed regarding the use of MGA:

1 - Natural Mating with MGA: Heifers are fed MGA for 14 days; insemination is recommended ~10 days after slaughter [15].

2 - MGA + PGF $_{2\alpha}$: After 14 days of MGA, PGF $_{2\alpha}$ is administered; injection in the late luteal stage shortens synchronization and increases the conception rate. The optimal interval is 17–19 days [16].

3 - MGA Selection: When PGF $_{2\alpha}$ is administered to heifers fed MGA for 14 days, 19 days after MGA is discontinued, estrus is better synchronized and the total estrus response rate is increased compared to those administered after 17 days.

A modified MGA-PGF $_{2\alpha}$ protocol was developed to induce estrus in beef heifers. The first modification was shifting the day of PGF $_{2\alpha}$ injection from 31 to 33; the second modification was adding GnRH on day 26. This protocol initiated a new follicular wave on day 28 by inducing luteal tissue formation and increased the proportion of heifers showing a follicular wave during the synchronization on day 33 [17].

7-Day CIDR-PGF $_{2\alpha}$ Protocol

Lucy *et al.* [18] applied CIDR-based protocols for estrus synchronization in beef heifers and reported that they applied CIDR-PGF $_{2\alpha}$ for 3–7 days.

In the seven-day protocol, CIDR was maintained for 7 days by applying PGF $_{2\alpha}$ on the 6th day of CIDR. This protocol increased pregnancy rates compared to control or PGF $_{2\alpha}$ -only heifers, and contributed to increased success with synchronization within the first 3 days following PGF $_{2\alpha}$. The disadvantage is that PGF $_{2\alpha}$ is applied on the 6th day of CIDR application [19].

In the MGA Select protocol for beef heifers, CIDR was used instead of MGA. It has been reported that pregnancy rates decreased in one-year-old heifers in MGA-based protocols [20]. It is stated that GnRH is less effective in synchronizing follicular waves in heifers compared to cows. Lamb *et al.* [21] found no difference in estrus synchronization or pregnancy rate between heifers treated with CIDR+PGF $_{2\alpha}$ and Select Synch+CIDR; this indicates that the response to GnRH in heifers may be limited.

In the CIDR Select application to heifers, CIDR was given for 0–14 days, followed by GnRH after 9 days and PGF $_{2\alpha}$ after 7 days. In the Cosynch+CIDR group, GnRH, PGF $_{2\alpha}$ after 7 days, and CIDR were removed. In both groups, fixed-time artificial insemination was performed 54–72 hours after PGF $_{2\alpha}$ and GnRH were administered to all heifers during insemination. The pregnancy rate obtained with the CIDR Select protocol (62%) was found to be significantly higher than that of Cosynch+CIDR (47%); resulting in a stronger estrus response and higher pregnancy rates [22].

Leitman *et al.* [23] compared CIDR Select (CIDR-GnRH-PGF $_{2\alpha}$) and 14-day CIDR-PGF $_{2\alpha}$ protocols in pre-pubertal and oestrous cycle beef heifers, showing that the CIDR-PGF $_{2\alpha}$ protocol provided higher synchronization and that pre-pubertal heifers responded better; in progesterone-based synchronization applications, MGA is banned in the USA and EU, and in Turkey, postpartum pregnancy rates after 66-hour fixed-time artificial insemination with the Cosynch+CIDR protocol using progesterone implants were evaluated [21].

Since PGF $_{2\alpha}$ alone cannot adequately synchronize ovulation in follicular stage females [24], the Ovsynch protocol was developed and preovulatory follicles were triggered with a second GnRH administered 48 hours after PGF $_{2\alpha}$ injection; ovulation was synchronized in 87–100% of lactating dairy cows, while pregnancy rates in fixed-time insemination were 32–45%, and in dairy heifers, they dropped to 35% [25]. In Cosynch and Select Synch variations tested in postpartum beef cows, the response differed from dairy cows depending on follicular wave patterns, the time from the second GnRH to ovulation, and the degree of synchronization; Select Synch, which does not include a second GnRH and applies insemination based on estrus observation [11], Ovsynch and Select Synch were found to be less effective compared to the MGA-PGF $_{2\alpha}$ protocol in beef heifers [26].

Estrus synchronization is used as a powerful reproductive management tool, as well as accelerating the genetic development of cattle herds. This method reduces labor requirements

during the calving period and increases profitability by increasing the age and weight of weaned calves. In synchronized herds, more than 85% of pregnant cows calve within the first 30 days of the calving period [27–29].

Hughes [30] stated that it is important for cows to calve during the first and second 21-day calving periods to increase the profitability of the farms. This early calving increases economic gain by allowing calves to gain more live weight. For the optimal calving season, 61% of calves should be born within the first 21 days, 85% within the 42nd day, and 94% within the 63rd day; This improves both herd management and economic efficiency. This study aimed to evaluate estrus and pregnancy rates in Simmental heifers – regardless of whether they are cyclic or acyclic – using four CIDR protocols applied for different durations, to enable fixed-time insemination by synchronizing ovulation and developing an effective synchronization program with high pregnancy rates.

Materials and methods /

Материалы и методы исследования

Animal Material

The study was conducted at Kelkit Doğan Livestock Enterprises Inc., located in Kelkit District, Gümüşhane Province. 100 Simmental heifers, all sourced from abroad and with an average age of 19 months (14–25 months), were used at the enterprise. The animals were housed in semi-open barns equipped with automatic waterers and a grazing area. They were fed rations containing alfalfa hay, corn silage, wheat straw bales, and beet pulp, in accordance with the care and feeding program. Upon arrival at the enterprise, the heifers were quarantined for 40 days and, following this period, were randomly divided into 5 equal groups regardless of their cyclical status. Drugs used and application methods

GnRH: Administered intramuscularly (i.m.) at a dose of 5 ml (0.1 mg/ml) (Fertagyl®, MSD Pharmaceuticals, USA).

PGF_{2α}: Administered intramuscularly at a dose of 2 ml (12.5 mg/ml) (Dinolitic HC®, Zoetis Pharmaceuticals, USA).

Progesterone Implant: Intravaginal implant containing 1.38 g of progesterone (CIDR 1380®, Zoetis Pharmaceuticals, USA).

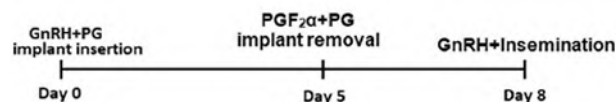
Establishment of Treatment Groups

Treatment groups were randomly assigned, each consisting of 20 heifers.

Control (n=20): No treatment was applied to the animals in this group. Only the estrus cycles of the heifers were monitored, and each heifer was inseminated a maximum of 3 times until pregnancy. Pregnancy examinations were performed by ultrasound approximately 75 days after the start of the treatment, and the results were recorded.

Group 1 (n=20): Day 0: GnRH + progesterone implant placement, Day 5: PGF_{2α} + progesterone implant removal, Day 8: GnRH + insemination.

Fig. 1. Application schedule for Group 1

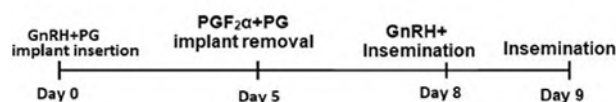


The following protocol was applied to the animals in this group:

- Day 0: GnRH administration and insertion of progesterone implants
- Day 5: PGF_{2α} injection and removal of implants
- Day 8: GnRH administration and artificial insemination

Group 2: Day 0: GnRH + progesterone implant placement, Day 5: PGF_{2α} + progesterone implant removal, Day 8: GnRH + insemination, Day 9: insemination.

Fig. 2. Application schedule for Group 2

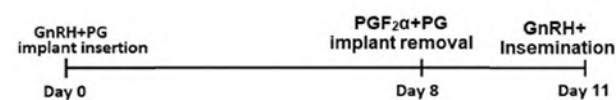


The application plan for this group is as follows:

- Day 0: GnRH administration and progesterone implant placement
- Day 5: PGF_{2α} injection and implant removal
- Day 8: GnRH administration and first insemination
- Day 9: Second insemination

Group 3: Day 0: GnRH + progesterone implant placement, Day 8: PGF_{2α} + progesterone implant removal, Day 11: GnRH + insemination.

Fig. 3. Schedule for Group 3

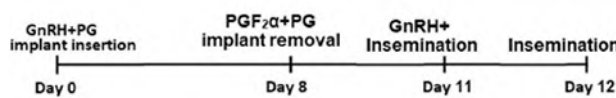


The protocol applied in this group is as follows:

- Day 0: GnRH administration and insertion of progesterone implants
- Day 8: PGF_{2α} injection and removal of implants
- Day 11: GnRH administration and artificial insemination

Group 4: Day 0: GnRH + progesterone implant placement, Day 8: PGF_{2α} + progesterone implant removal, Day 11: GnRH + insemination, Day 12: insemination.

Fig. 4. Application schedule for Group 4



The following procedure sequence was applied to this group:

- Day 0: GnRH administration and insertion of progesterone implants
- Day 8: PGF_{2α} injection and removal of implants
- Day 11: GnRH administration and first insemination
- Day 12: Second insemination

In the control group, estrus was monitored by observation and rectal examination. Animals showing typical estrus signs (decreased feed intake, mobility, bellowing, meowing, jumping on or allowing other animals) were separated, and artificial insemination was performed on those whose tone was determined by rectal examination. In the experimental group, fixed-time artificial insemination was performed without estrus observation as per the protocol. All inseminations were performed by the same veterinarian, and artificial insemination was performed again on animals showing estrus signs within 17–25 days following the first insemination. Pregnancy examinations were evaluated on day 35 with ultrasonography (WED 3000).

Ultrasound examinations were performed to evaluate the ovarian structures of the heifers and to diagnose pregnancy. For this purpose, a WED 3000V brand ultrasound device with LNA40/5 -6.5 -7.5 MHz High Frequency Array Probe was used (WED-3000V, WELD, Shenzhen Well.D Medical Electronics Co., Ltd., China).

Pregnancy examinations were performed 35 days after the first insemination and again on the 70th day.

The Minitab statistical package program¹ (Minitab release 12.1, 1998) was used to evaluate the data. The Chi-square test was used to analyze the differences in pregnancy rates between groups, and One-Way Analysis of Variance (ANOVA) was used to determine the differences between progesterone levels and follicle and corpus luteum sizes.

Before the study started, permission was obtained from the Kelkit District Directorate of the Ministry of Agriculture and Forestry on 28.12.2023, and the necessary permissions were also obtained from the Sivas Cumhuriyet University Local Ethics Committee for Animal Experiments (16.02.2024/047).

Results and discussion /

Результаты и обсуждение

After the animals were selected and grouped, all treatments were started on the same day.

Control (n=20)

Natural estrus signs were observed in the animals twice a day for 0.5–2 hours, and artificial insemination was performed within 8 hours of the animals being in estrus. All heifers were inseminated within the first 30 days, and during subsequent observations, 14 of the 20 heifers previously inseminated showed estrus again, followed by 5 more, and were re-inseminated. Pregnancy examinations were performed with

ultrasonography on days 35 and 75 after the first insemination, and a total of 15 heifers were determined to be pregnant.

Group 1 (n=20)

Following hormone application, fixed-time artificial insemination was performed on day 8 as per the protocol, and no estrus signs were observed for the next 17–25 days; signs were detected in only one heifer, and re-insemination was performed within 4 hours. Ultrasonographic pregnancy examinations were performed on days 35 and 70, and pregnancy was detected in 13 and 14 animals, respectively.

Group 2 (n=20)

Following hormone administration, fixed-time artificial insemination was performed on days 8 and 9 according to the protocol. No signs of estrus were observed during the first 17–25 days of observation; two heifers showing signs on day 20 were re-inseminated within 4 hours. Ultrasonographic pregnancy examinations were performed on days 35 and 70, and pregnancy was detected in 16 and 18 animals, respectively.

Group 3 (n=20)

Following hormone administration, fixed-time artificial insemination was performed on day 11. Three heifers showing signs of estrus during the 17–25-day observation period were re-inseminated within 4 hours. Ultrasonographic pregnancy examinations were performed on days 35 and 70, and pregnancy was detected in 6 and 10 animals, respectively.

Group 4 (n=20)

Fixed-time artificial inseminations were performed on days 11 and 12 following hormone administration, and two heifers were re-inseminated within 4 hours during a 17–25 day observation period. Ultrasonographic pregnancy examinations were performed on days 35 and 70, and pregnancy was detected in 3 and 5 animals, respectively.

In all groups, after the first insemination, the animals were confirmed to be non-pregnant by ultrasound examination before re-insemination in cases of observed estrus. In non-pregnant animals, insemination was performed by depositing sperm into the remaining portion after passing two-thirds of the cervix uteri.

Artificial Insemination Index

The number of inseminations performed to achieve one pregnancy showed significant differences between the groups. In the control group (n=20), 39 inseminations were performed for 16 pregnancies; in Group 1 (n=20), 34 inseminations

Table 1. Pregnancy rates after 1st, 2nd, and 3rd inseminations according to groups

Gruplar	1st Insemination	2nd Insemination	3rd Insemination
Control (n=20)	6 pregnant / 14 open (%30)	9 pregnant / 5 open (%64)	2 pregnant / 4 open (%33,33)
Group 1 (n=20)	13 pregnant / 7 open (%65)	Estrus was not observed	1 pregnant / 6 open (%14,28)
Group 2 (n=20)	16 pregnant / 4 open (%80)	Estrus was not observed	2 pregnant / 2 open (%50)
Group 3 (n=20)	6 pregnant / 14 open (%30)	2 pregnant / 12 open (%14,28)	1 pregnant / 11 open (%8,33)
Group 4 (n=20)	3 pregnant / 17 open (%15)	1 pregnant / 16 open (%5,88)	1 pregnant / 15 open (%6,25)

¹ Savale S. Minitab: Statistical and Process Improvement Software Used in Pharmaceuticals for Data Analysis. 2023.

were performed for 14 pregnancies; in Group 2 (n=20), 28 inseminations were performed for 18 pregnancies; in Group 3 (n=20), 46 inseminations were performed for 9 pregnancies; and in Group 4 (n=20), 53 inseminations were performed for 5 pregnancies. Accordingly, the average number of inseminations per pregnancy was 2.43, 2.42, 1.55, 5.11, and 10.6, respectively (Table 2).

Sexual synchronization in cows is an application requiring significant planning in modern dairy and meat farms. Goals such as shortening the time between births, keeping the interval between births around 400 days, reducing feed costs, and improving herd management increase farm profitability with fertility-appropriate programs. In farms selling pregnant heifers, the rapid pregnancy of heifers and the bulk sale of animals in similar pregnancy periods are economically important. However, the literature reports that the response to hormone programs, especially in heifers, can vary depending on the cyclical nature.

One of the most important problems in dairy farming is the prolongation of the birth-re-pregnancy period due to the inability to detect estrus in time. Insufficient observation of estrus signs, especially in tethered systems, leads to a decrease in calf yield. Therefore, estrus synchronization methods have been developed to accurately determine estrus and reduce time loss. The main purpose of these applications is to achieve the highest pregnancy rates after synchronization of estrus and ovulation [31]. In a study using progesterone implants [32], it was stated that the implants stabilized the estrous cycles of cattle and successfully synchronized them. Furthermore, it was understood that this synchronization method has the potential to increase pregnancy rates by making the timing of insemination more precise [32].

Progesterone implants are a widely used synchronization method in dairy farming due to their less invasive nature. It is reported that these implants provide high pregnancy rates and increase success, especially in high-yielding cows [33]. However, the effectiveness of implants can be affected by environmental factors, particularly heat stress. By providing continuous hormone release, they facilitate the control of estrus and ovulation processes. Arköse and Uslu [32] reported that progesterone implants provide more stable results compared to other methods, creating a more economical and efficient synchronization, and also increasing pregnancy rates.

In the study by Martínez *et al.* [34], CIDR-B was used as a progesterone implant, and heifers were divided into three groups. In the first group, EB+progesterone was administered along with CIDR, followed by PGF2 α on day 7, removal of the implant, and then EB again, followed by fixed-time insemination. In the second group, GnRH was administered along with CIDR, followed by PGF2 α on day 7, and then GnRH again, followed by fixed-time insemination. In the control group, estrus was observed for 5 days after CIDR and PGF2 α administration, and those showing

Table 2. Number of inseminations required to achieve 1 pregnancy, by group (Artificial insemination index)

Groups	Artificial insemination index
Control (n=20)	2,43
Group 1 (n=20)	2,42
Group 2 (n=20)	1,55
Group 3 (n=20)	5,11
Group 4 (n=20)	10,6

estrus were inseminated. In the study, estrus and pregnancy rates were reported as 83% and 38% in the control group, 100% and 76% in the EB+PGF2 α group, and 55% and 48% in the GnRH group. In our study, GnRH injections were planned to be given 72 hours after the last PGF2 α injection in the groups we created, in order to stimulate the dominant follicle to ovulate and to guarantee ovulation. When GnRH injections were performed in this way, both the retention time of progesterone implants and the number of single and double inseminations significantly altered pregnancy rates between groups.

Arköse and Uslu [32] reported that the ovsynch protocol was more effective in high-yielding animals, but individual differences could reduce success. Dinç [35] stated that this protocol synchronized ovulation rather than estrus and provided pregnancy rates similar to insemination based on estrus observation. It is stated that the pregnancy rate in the first insemination in the ovsynch program is generally 40% or lower, therefore resynchronization strategies have been developed [36]. Animals that do not become pregnant can be resynchronized and inseminated again [37]. It has been reported that having a follicle diameter greater than 10 mm in the first GnRH application increases the pregnancy rate, while the response is weak in follicles smaller than 9 mm due to the low number of LH receptors [2, 38, 39]. In this study, pregnancy rates of 30% at the first insemination and 80% at the end of the third insemination were achieved in the control group with progesterone-supported Ovsynch application; and 80% and 90% in Group 2, respectively. Although there was no difference in nutrition, it was thought that the difference between the groups might be due to the ovarian activity phase at the time of application.

According to Pursley *et al.* [40], the Ovsynch method provides follicular and luteal development in dairy cows, thus synchronizing estrus, but it is reported to be unsuitable for heifers. This may be due to the fact that the animals are classified as heifers because they are older but have not yet given birth. Although serum hormone analysis was not performed in our study, it was concluded that blood progesterone levels increased significantly during the application period thanks to the progesterone implant, and sufficient stimulation was achieved.

Classically, heifers are expected to give birth at least once by the age of 27 months, and planning is done accordingly. As can be seen in the materials and methods section, the average age of the animals used

in the study was 19 months. Therefore, obtaining offspring at the earliest at 28 months of age would be possible. In addition to obtaining offspring at the earliest at 28 months, the fact that the animals are Simmental breeds and have a relatively late gestation period would bring about significant weight gain, even fat accumulation problems. The significant difference in pregnancy rates, especially the fluctuating pregnancy in the control group showing natural estrus, is considered to be partly due to the animals being overweight.

The reason for the high pregnancy rate obtained in groups 1 and 2 after the first insemination can also be explained by the fact that the rate of ovulation induction within 24 hours after insemination was higher than in the control group. It has been reported that the ovulation time in estrus synchronization depends on the follicular development stage at the time of PGF2 α application [41], and that follicles larger than 10 mm give the best response to GnRH application [38, 39]. This is because the low number of LH receptors in granulosa cells in follicles smaller than 9 mm has been reported to reduce the response to the LH wave stimulated by GnRH application [2].

Although it has been reported that some fixed-time artificial insemination protocols applied in cows, which provide significant labor savings, are also applied in heifers and often yield very good results, it is known that there is still a subject that needs to be improved. As reported by Sartori *et al.* [8], the fertilization rate can reach 100% in heifers showing signs of estrus. In our study, the reason for the miscarriages in the control group, and in groups 3 and 4, can be explained by early embryonic death.

Nak *et al.* [42] achieved a total pregnancy rate of 58.8% in cyclic and acyclic heifers treated with ovsynch. They reported that 28 of the 34 animals used in their study were cyclic anestrus, with a 50% pregnancy rate, and 6 were acyclic, with a 100% pregnancy rate. In our study, no distinction was made between cyclic and acyclic heifers, and our pregnancy rates are parallel to those in this study.

Progesterone implants, ovsynch, single-dose PGF2 α , and double-dose PGF2 α are four different methods of sexual synchronization, each with its own advantages and limitations. Progesterone implants are more successful in achieving high pregnancy rates due to their long-term effect, but their application and management costs are higher. Ovsynch yields effective results, especially in high-yielding cows and large farms, but it can be affected by environmental factors. While single-dose PGF2 α is cost-effective, lower success rates have been achieved, particularly in cows exhibiting irregular estrus cycles. Double-dose PGF2 α generally provides more reliable synchronization, but it can be affected by many factors. The effectiveness of each synchronization method can vary depending on environmental factors (climate, ambient temperature, etc.), animal yield characteristics, and individual differences. Therefore, the choice of each protocol should be evaluated in

terms of the farm's needs, animal population, and cost [43–45].

In their study, Martínez *et al.* [46] reported achieving a pregnancy rate of 45.1% in cows and 39.1% in heifers when they applied Cosynch. The Cosynch method is advantageous because it does not require estrus observation compared to the ovsynch method and the pregnancy rate is at a sufficient level when compared with other synchronization methods [47]. In our study, pregnancy was achieved in 65% of cases in the group where the cosynch method was supported with progesterone, i.e., group I. The difference between this study and ours is thought to be due to the support of progesterone.

Stevenson *et al.* [41], in their study with the Selectsynch protocol, found an estrus induction and insemination rate of 82.3% and a pregnancy rate of 25.6% in 74 cows. The researchers reported that using a GnRH-PGF2 α combination for estrus synchronization would be more beneficial. In another study [48], cows were inseminated twice at 48 and 72 hours after being treated with GnRH (10 mg Buserelin) on day 0 and PGF2 α (500 mg Cloprostenol) on day 7, regardless of the stage of the sexual cycle. The estrus rate was found to be 96% and the pregnancy rate was 62.5% [48]. In our study, pregnancy rates of 80% and 15% were achieved in Group 2 and Group 4, respectively, where double insemination was performed with 5 days and 8 days of progesterone-supported cosynch. The pregnancy rate obtained in Group 2 was found to be quite high and successful when compared to the 62.5% rate reported in Bülbül's [48] study, while the rate in Group 4 was significantly lower. The reasons for this difference in pregnancy resulting from the prolonged time between GnRH and PGF2 α , as reported by some researchers [38, 44, 49], can be attributed to: over-maturation of the dominant follicle in the newly initiated follicular wave, decreased LH receptor expression and decreased oocyte quality, and decreased ovulation response to GnRH. GnRH initiates a new dominant follicle, and this follicle reaches the most suitable diameter and quality for ovulation in ~5–7 days (12–16 mm). If the time is prolonged, the follicle ages; Even if ovulation occurs, oocyte quality and fertilization potential decrease. Consequently, it has been concluded that the prolonged period reduces pregnancy rates due to follicle aging and decreased ovulation response.

In the presented study, a higher pregnancy rate was obtained in the control group than in the experimental groups. This may be due to the fact that the animal material used in the study consisted of Simmental breed heifers. The limited number of studies on reproductive physiology carried out with Simmental breed cows and heifers makes it difficult to evaluate the effectiveness of such applications. In addition, it is understood from the obtained pregnancy rates that the synchronization protocols developed for Holstein breed heifers are not sufficiently suitable for the Simmental breed [50]. Therefore, increasing the

number of basic research studies on the reproductive physiology specific to the Simmental breed, based on the best-performing group in our study, and developing this protocol and applying it to more Simmental breeds will be an important step in this field.

Conclusions/ Выводы

In conclusion; although the estrus rates and pregnancy rates obtained after the first insemination with the progesterone-supported cosynch protocol applied in the presented study were found to be sufficient and satisfactory when compared with the literature data, significant differences were observed between the groups.

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 / БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Eshete T., Demisse T., Yilma T., Tamir B. Repeat Breeding and Its' Associated Risk Factors in Crossbred Dairy Cattle in Northern Central Highlands of Ethiopia. *Veterinary Medicine International*. 2023; 2023: 1176924.
<https://doi.org/10.1155/2023/1176924>
- Xu Z.Z., Burton L.J. Estrus Synchronization of Lactating Dairy Cows with GnRH, Progesterone, and Prostaglandin $F_{2\alpha}$. *Journal of Dairy Science*. 2000; 83(3): 471–476.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74905-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74905-8)
- Kolachi H.A. et al. Fixed-time artificial insemination technology in buffaloes: a review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025; 12: 1586609.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1586609>
- Coffman E.A., Pinto C.R. A Review on the Use of Prostaglandin $F_{2\alpha}$ for Controlling the Estrous Cycle in Mares. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2016; 40: 34–40.
<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.01.008>
- Liehr R.A., Marion G.B., Olson H.H. Effects of prostaglandin on cattle estrous cycles. *Journal of Animal Science*. 1972; 35(S1).
- López-Gatius F. Ovarian response to prostaglandin $F_{2\alpha}$ in lactating dairy cows: A clinical update. *Journal of Reproduction and Development*. 2022; 68(2): 104–109.
<https://doi.org/10.1262/jrd.2021-119>
- Fortune J.E., Sirois J., Quirk S.M. The growth and differentiation of ovarian follicles during the bovine estrous cycle. *Theriogenology*. 1988; 29(1): 95–109.
[https://doi.org/10.1016/0093-691X\(88\)90034-9](https://doi.org/10.1016/0093-691X(88)90034-9)
- Sartori R., Fricke P.M., Ferreira J.C.P., Ginther O.J., Wiltbank M.C. Follicular Deviation and Acquisition of Ovulatory Capacity in Bovine Follicles. *Biology of Reproduction*. 2001; 65(5): 1403–1409.
<https://doi.org/10.1095/biolreprod65.5.1403>
- Twagiramungu H., Guilbault L.A., Dufour J.J. Synchronization of ovarian follicular waves with a gonadotropin-releasing hormone agonist to increase the precision of estrus in cattle: A review. *Journal of Animal Science*. 1995; 73(10): 3141–3151.
<https://doi.org/10.2527/1995.73103141x>
- Thatcher W.W. et al. New clinical uses of GnRH and its analogues in cattle. *Animal Reproduction Science*. 1993; 33(1–4): 27–49.
[https://doi.org/10.1016/0378-4320\(93\)90105-Z](https://doi.org/10.1016/0378-4320(93)90105-Z)
- Kojima F.N. et al. Development of an estrus synchronization protocol for beef cattle with short-term feeding of melengestrol acetate: 7–11 synch. *Journal of Animal Science*. 2000; 78(8): 2186–2191.
<https://doi.org/10.2527/2000.7882186x>
- Wood-Follis S.L., Kojima F.N., Lucy M.C., Smith M.F., Patterson D.J. Estrus synchronization in beef heifers with progestin-based protocols. I. Differences in response based on pubertal status at the initiation of treatment. *Theriogenology*. 2004; 62(8): 1518–1528.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.02.017>
- do Couto S.R.B., Silenciato L.N., Okada M. dos S.D., e Silva O.R., Ferreira J.E., de Mello M.R.B. Use of Progesterone as a Strategy to Improve Reproductive Efficiency in Cattle. Wang Z. (ed.). *Progesterone - Basic Concepts And Emerging New Applications. IntechOpen*. 2024.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.1005624>

The highest pregnancy rate was achieved in Group 2 (80%), therefore it can be recommended for all heifer farms. The 65% pregnancy rate achieved in the uninseminated group (Group 1) demonstrates the importance of double insemination (which can prolong ovulation).

Lower pregnancy rates (30%, 15%) in groups where the time between GnRH and PGF $_{2\alpha}$ was longer suggest that the oocyte is aging too quickly or there may be disruptions in the ovulation mechanism. In farms where estrus monitoring is not possible, it should be considered that this practice (Group 2) can lead to high pregnancy rates.

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.

- Salverson R.R., DeJarnette J.M., Marshall C.E., Wallace R.A. Synchronization of estrus in virgin beef heifers using melengestrol acetate and PGF $_{2\alpha}$: an efficacy comparison of cloprostenol and dinoprost tromethamine. *Theriogenology*. 2002; 57(2): 853–858.
[https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00692-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00692-6)
- Patterson D.J., Kojima F.N., Smith M.F. A review of methods to synchronize estrus in replacement heifers and postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*. 2003; 81(14-S2): E166–E177.
https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E166x
- Lamb G.C., Nix D.W., Stevenson J.S., Corah L.R. Prolonging the MGA-prostaglandin $F_{2\alpha}$ interval from 17 to 19 days in an estrus synchronization system for heifers. *Theriogenology*. 2000; 53(3): 691–698.
[https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00267-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00267-8)
- Wood S.L., Lucy M.C., Smith M.F., Patterson D.J. Improved synchrony of estrus and ovulation with the addition of GnRH to a melengestrol acetate-prostaglandin $F_{2\alpha}$ synchronization treatment in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 2001; 79(8): 2210–2216.
<https://doi.org/10.2527/2001.7982210x>
- Lucy M.C. et al. Efficacy of an intravaginal progesterone insert and an injection of PGF $_{2\alpha}$ for synchronizing estrus and shortening the interval to pregnancy in postpartum beef cows, periparturient beef heifers, and dairy heifers. *Journal of Animal Science*. 2001; 79(4): 982–995.
<https://doi.org/10.2527/2001.794982x>
- Kara U., Bekyürek T. The Effect of Double PGF $_{2\alpha}$ Administrations Applied to Donor Before Oestrus With Synchronized CIDR on the Number and Quality of Obtained Embryos During Embryo Transfer in Cattle. *Sağlık Bilimleri Dergisi*. 2017; 26(3): 204–210 (in Turkish).
- Utter S.D., Corah L.R. Influence of dietary energy levels on reproductive function and fertility in yearling beef heifers. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 1994; (1).
<https://doi.org/10.4148/2378-5977.2074>
- Lamb G.C. et al. Synchronization of estrus and artificial insemination in replacement beef heifers using gonadotropin-releasing hormone, prostaglandin $F_{2\alpha}$, and progesterone. *Journal of Animal Science*. 2006; 84(11): 3000–3009.
<https://doi.org/10.2527/jas.2006-220>
- Busch D.C. et al. Comparison of progestin-based estrus synchronization protocols before fixed-time artificial insemination on pregnancy rate in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 2007; 85(8): 1933–1939.
<https://doi.org/10.2527/jas.2006-845>
- Leitman N.R. et al. Comparison of controlled internal drug release insert-based protocols to synchronize estrus in prepubertal and estrous-cycling beef heifers. *Journal of Animal Science*. 2009; 87(12): 3976–3982.
<https://doi.org/10.2527/jas.2009-2250>
- Coman S., Berean D.I., Cimpean R., Ciupe S., Coman I., Bogdan L.M. Clinical Modalities for Enhancing Reproductive Efficiency in Buffaloes: A Review and Practical Aspects for Veterinary Practitioners. *Animals*. 2024; 14(18): 2642.
<https://doi.org/10.3390/ani14182642>
- Pursley J.R., Silcox R.W., Wiltbank M.C. Effect of Time of Artificial Insemination on Pregnancy Rates, Calving Rates, Pregnancy Loss, and Gender Ratio After Synchronization of Ovulation in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 1998; 81(8): 2139–2144.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75790-x](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75790-x)

26. Lamb G.C., Cartmill J.A., Stevenson J.S. Effectiveness of Select Synch (Gonadotropin-Releasing Hormone and Prostaglandin $F_{2\alpha}$) for Synchronizing Estrus in Replacement Beef Heifers. *The Professional Animal Scientist*. 2004; 20(1): 27–33. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31268-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31268-7)
27. Bader J.F. et al. A comparison of progestin-based protocols to synchronize ovulation and facilitate fixed-time artificial insemination in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*. 2005; 83(1): 136–143. <https://doi.org/10.2527/2005.831136x>
28. Day M.L., Grum D.E. Breeding Strategies to Optimize Reproductive Efficiency in Beef Herds. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2005; 21(2): 367–381. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2005.02.003>
29. Kasimanickam R., Harting Q., Hanson R., Boler R. Estrus and ovulation synchronization strategies in beef cattle. *Clinical Theriogenology*. 2025; 17(Therapeutics in Theriogenology): 9–23. <https://doi.org/10.58292/CT.v17.11650>
30. Amer, P. R., Lowman, B. G., & Simm, G. Economic values for reproduction traits in beef suckler herds based on a calving distribution model. *Livestock Production Science*, 1996; 46(2), 85–96. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(96\)00016-4](https://doi.org/10.1016/0301-6226(96)00016-4)
31. Cavalieri J., Kinder J.E., De'ath G., Fitzpatrick L.A. Effect of 48 h treatment with 17 β -oestradiol or progesterone on follicular wave emergence and synchrony of ovulation in *Bos indicus* cows when administered at the end of a period of progesterone treatment. *Animal Reproduction Science*. 1997; 46(3–4): 187–201. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(96\)01620-x](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(96)01620-x)
32. Arköse C.Ç., Uslu B.A. Comparison of the Results Synchronization with Progesterone Implants and Fixed Time Artificial Insemination in Dairy Cows. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2022; 65: e22210243. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210243>
33. Stevenson, J. S., Pursley, J. R., Garverick, H. A., Fricke, P. M., Kesler, D. J., Ottobre, J. S., & Wiltbank, M. C. Treatment of cycling and noncycling lactating dairy cows with progesterone during Ovsynch. *Journal of Dairy Science*, 2006; 89(7), 2567–2578. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72333-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72333-5)
34. Martinez M.F., Kastelic J.P., Adams G.P., Janzen E., McCartney D.H., Mapletoft R.J. Estrus synchronization and pregnancy rates in beef cattle given CIDR-B, prostaglandin and estradiol, or GnRH. *The Canadian Veterinary Journal*. 2000; 41(10): 786–790.
35. Dinç D. A. İneklerde reproduktif verimliliği artırma programları. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*. 2006; 77(2): 50–64 (in Turkish).
36. Fricke P.M. Scanning the Future—Ultrasonography as a Reproductive Management Tool for Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 2002; 85(8): 1918–1926. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74268-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74268-9)
37. Stevenson J.S., Tiffany S.M. Resynchronizing Estrus and Ovulation After Not-Pregnant Diagnosis and Various Ovarian States Including Cysts. *Journal of Dairy Science*. 2004; 87(11): 3658–3664. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73504-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73504-3)
38. Vasconcelos J.L.M., Silcox R.W., Rosa G.J., Pursley J.R., Wiltbank M.C. Synchronization rate, size of the ovulatory follicle, and pregnancy rate after synchronization of ovulation beginning on different days of the estrous cycle in lactating dairy cows. *Theriogenology*. 1999; 52(6): 1067–1078. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00195-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00195-8)
39. Doležel R., Čech S., Zajíc J., Havlíček V. Oestrus Synchronization by PGF $_{2\alpha}$ and GnRH in Intervals according to Stage of Follicular Development at Time of Initial Treatment in Cows. *Acta Veterinaria Brno*. 2002; 71(1): 101–108. <https://doi.org/10.2754/avb200271010101>
40. Pursley J.R., Wiltbank M.C., Stevenson J.S., Ottobre J.S., Garverick H.A., Anderson L.L. Pregnancy Rates Per Artificial Insemination for Cows and Heifers Inseminated at a Synchronized Ovulation or Synchronized Estrus. *Journal of Dairy Science*. 1997; 80(2): 295–300. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75937-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75937-X)
41. Stevenson J.S., Kobayashi Y., Thompson K.E. Reproductive Performance of Dairy Cows in Various Programmed Breeding Systems Including OvSynch and Combinations of Gonadotropin-Releasing Hormone and Prostaglandin $F_{2\alpha}$. *Journal of Dairy Science*. 1999; 82(3): 506–515. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75261-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75261-6)
42. Nak Y. et al. Siklik ve Asiklik Anöstruslu Sütçü Düvelerde Ovsynch veya PRID + PG $F_{2\alpha}$ + PMSG Uygulamalarının Reprodüktif Performans Üzerine Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2005; 24(1–4): 21–26.
43. Thatcher W.W., Bartolome J.A., Sozzi A., Silvestre F., Santos J.E.P. Manipulation of Ovarian Function for the Reproductive Management of Dairy Cows. *Veterinary Research Communications*. 2004; 28(S1): 111–119. <https://doi.org/10.1023/b:verc.0000045388.07807.3e>
44. Wiltbank M.C., Souza A.H., Carvalho P.D., Bender R.W., Nascimento A.B. Improving fertility to timed artificial insemination by manipulation of circulating progesterone concentrations in lactating dairy cattle. *Reproduction, Fertility, and Development*. 2011; 24(1): 238–243. <https://doi.org/10.1071/RD11913>
45. Bisinotto R.S., Ribeiro E.S., Santos J.E.P. Synchronisation of ovulation for management of reproduction in dairy cows. *Animal*. 2014; 8(S1): 151–159. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000858>
46. Martinez M.F., Kastelic J.P., Adams G.P., Cook B., Olson W.O., Mapletoft R.J. The use of progestins in regimens for fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Theriogenology*. 2002; 57(3): 1049–1059. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(01\)00682-3](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00682-3)
47. Rabiee A.R., Lean I.J., Stevenson M.A. Efficacy of Ovsynch Program on Reproductive Performance in Dairy Cattle: A Meta-Analysis. *Journal of Dairy Science*. 2005; 88(8): 2754–2770. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72955-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72955-6)
48. Bülbül B., Ataman M.B. Investigation of Effect on Fertility of Different Oestrus Synchronization Methods in Cows in Field Conditions. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*. 2005; 21(3–4): 15–22 (in Turkish).
49. Pursley J.R., Mee M.O., Wiltbank M.C. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF $_{2\alpha}$ and GnRH. *Theriogenology*. 1995; 44(7): 915–923. [https://doi.org/10.1016/0093-691x\(95\)00279-h](https://doi.org/10.1016/0093-691x(95)00279-h)
50. Khalil A.A.Y. Fertility response of lactating dairy cows subjected to three different breeding programs under subtropical conditions. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2019; 8: 6. <https://doi.org/10.1186/s43088-019-0008-x>

ABOUT THE AUTHORS

Hamza Ozel¹

Veterinarian

hamzao@kelkitbesi.com.tr<https://orcid.org/0009-0000-5720-5662>**Baris Atalay Uslu**²PhD, Professor, Department of Artificial Insemination, Faculty of Veterinary Medicine
atalayuslu@cumhuriyet.edu.tr<https://orcid.org/0000-0003-1866-932X>**Salih Narlıca**²Assistant Professor, Department of Artificial Insemination, Faculty of Veterinary Medicine
snarlicay@cumhuriyet.edu.tr<https://orcid.org/0000-0001-8043-3807>¹Kelkit Doğan Livestock Enterprises Inc.,
6-B Aybüke st., Ahmet Yesevi Mahallesi, Kelkit, 29600, Türkiye²Sivas Cumhuriyet University,
Campus Central Sivas, Sivas, 58140, Türkiye

ОБ АВТОРАХ

Хамза Озель¹

ветеринарный врач

hamzao@kelkitbesi.com.tr<https://orcid.org/0009-0000-5720-5662>**Барыс Аталай Услу**²PhD, профессор, кафедра искусственного осеменения, факультет ветеринарной медицины
atalayuslu@cumhuriyet.edu.tr<https://orcid.org/0000-0003-1866-932X>**Салих Нарлычай**²доцент, кафедра искусственного осеменения, факультет ветеринарной медицины
snarlicay@cumhuriyet.edu.tr<https://orcid.org/0000-0001-8043-3807>¹Келкит Доган Livestock Enterprises Inc.,
ул. Айбуке 6-Б, Ахмет Есеви Махаллеси, Келькит, 29600, Турция²Университет Сивас Джумхуриет,
Кампус университета Сивас Джумхуриет, Сивас, 58140, Турция

П.Н. Щербаков

М.А. Дерхо ✉

С.А. Гриценко

О.А. Гуменюк

М.В. Ческидов

Южно-Уральский государственный
аграрный университет, Троицк,
Россия✉ derkho2010@yandex.ru

Поступила в редакцию: 19.12.2025

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Щербаков П.Н., Дерхо М.А.,
Гриценко С.А., Гуменюк О.А.,
Ческидов М.В.

Pavel N. Shcherbakov

Marina A. Derkho ✉

Svetlana A. Gritsenko

Olga A. Gumenyuk

Maxim V. Cheskidov

South Ural State Agrarian University,
Troitsk, Russia✉ derkho2010@yandex.ru

Received by the editorial office: 19.12.2025

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Shcherbakov P.N., Derkho M.A.,
Gritsenko S.A., Gumenyuk O.A.,
Cheskidov M.V.

Влияние физиологического статуса свиноматок на уровни аммиака и сероводорода в воздухе свиноводческих помещений

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В формировании санитарного состояния воздушной среды свиноводческих помещений важную роль играют токсичные газы — NH_3 и H_2S . Их эмиссия определяется комплексом взаимосвязанных технологических и биологических факторов. При этом роль животных как потенциального источника газообразования остается недостаточно изученной.

Методы. Объект исследования — производственные помещения технологического модуля для содержания свиноматок. В воздухе цеха опороса, осеменения и ожидания в период санитарного разрыва (контрольный период) и в период содержания технологической группы животных (опытный период) определена концентрация NH_3 и H_2S методом газовой хроматографии. Изменчивость признаков оценена при помощи комплекса статистических методов.

Результаты. Концентрация газов в воздухе помещений зависит от цеха и его производственной нагрузки. В период санитарного разрыва концентрация NH_3 и H_2S в 2,27–3,21 раза меньше, чем в период содержания технологической группы свиноматок. Уровень NH_3 и H_2S возрастает в ряду «цех опороса — цех осеменения — цех ожидания»: для аммиака в 2,90–3,10 раза, для сероводорода — в 2,81–3,86 раза в контрольном и опытном периодах. Концентрация NH_3 превышает уровень H_2S в 2,47–3,86 раза. Во все периоды эксплуатации помещений содержание газов не превышает ПДК. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил достоверное влияние фактора «Цех» (эквивалентного физиологическому статусу свиноматок) на формирование газовой среды и характер корреляционных связей между концентрациями сероводорода и аммиака.

Ключевые слова: аммиак, сероводород, воздух, свиноводческие производственные помещения, свиноматки

Для цитирования: Щербаков П.Н., Дерхо М.А., Гриценко С.А., Гуменюк О.А., Ческидов М.В. Влияние физиологического статуса свиноматок на уровни аммиака и сероводорода в воздухе свиноводческих помещений. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 56–65. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-56-65>

Influence of the physiological status of sows on ammonia and hydrogen sulfide levels in the air of pig housing facilities

ABSTRACT

Relevance. Toxic gases, NH_3 and H_2S , play an important role in the formation of the sanitary state of the air environment in pig breeding premises. Their emission is determined by a complex of interrelated technological and biological factors. At the same time, the role of animals as a potential source of gas production remains insufficiently studied.

Methods. The object of the study was the production facilities of the technological module for keeping sows. The concentrations of NH_3 and H_2S were determined by gas chromatography in the air of the farrowing, insemination and waiting rooms during the sanitary break (control period) and during the housing of a technological group of animals (experimental period). The variability of the parameters was assessed using a set of statistical methods.

Results. The concentration of gases in the indoor air depends on the room type and its production load. During the sanitary break, the concentration of NH_3 and H_2S is 2.27–3.21 times lower than during the housing of the technological group of sows. The levels of NH_3 and H_2S increase in the sequence “farrowing room – insemination room – waiting room” by 2.90–3.10 times for ammonia and by 2.81–3.86 times for hydrogen sulfide in both control and experimental periods. The concentration of NH_3 exceeds that of H_2S by 2.47–3.86 times. During all periods of facility operation, gas concentrations do not exceed the maximum permissible concentrations (MPC). One-way ANOVA confirmed a significant influence of the factor “room type” (equivalent to the physiological status of sows) on the formation of the gas-air environment and on the correlation between hydrogen sulfide and ammonia concentrations.

Key words: ammonia, hydrogen sulfide, air, pig production facilities, sows

For citation: Shcherbakov P.N., Derkho M.A., Gritsenko S.A., Gumenyuk O.A., Cheskidov M.V. Influence of the physiological status of sows on ammonia and hydrogen sulfide levels in the air of pig housing facilities. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 56–65 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-56-65>

Введение/Introduction

В условиях промышленного свиноводства состояние здоровья и экономическая безопасность производственной среды сопряжены с параметрами микроклимата, среди которых критическое значение имеет газовый состав воздуха. Эмиссия токсичных соединений в воздушную среду свиноводческих помещений обусловлена: 1) биогенным фактором, в роли которого выступает организм животных, являясь потенциальным источником газов. При этом интенсивность газопродукции зависит от метаболического статуса организма, физиологического состояния, массы тела, уровня и качества кормления, эффективности усвоения компонентов корма [1]; 2) технологическими факторами, среди которых приоритетно значение процессов хранения и утилизации свиного навоза, определяющих его физико-химические и микробиологические свойства, влияющие на кинетику образования и выделения газов [2, 3]. Установлено, что при деградации свиного навоза в условиях его хранения в резервуарах образуется сложная смесь газообразных веществ, в которой доминирующими являются аммиак (NH_3), сероводород (H_2S), углекислый газ (CO_2) [4, 5]. Максимальная интенсивность газовой эмиссии фиксируется в период интенсивного откорма свиней, тогда как минимальные показатели характерны для циклов воспроизводства [1, 6, 7].

Газообразные продукты, образующиеся при деградации навоза, относятся к категории «токсичные поллютанты». Они создают техногенную угрозу для обслуживающего персонала и животных [8, 9]. Ключевыми и наиболее опасными газообразными соединениями свиноводческих помещений являются аммиак и сероводород [10]. Они способны адсорбироваться на мелких частицах пыли в воздухе помещений, что потенцирует их негативное воздействие на физиологическое состояние животных [11, 12]. Экспозиция аммиака на организм свиней в концентрациях, сопоставимых с ПДК и выше, снижает потребление корма и уровень среднесуточных приростов; подавляет барьерные функции слизистых оболочек, что инициирует развитие воспалительных процессов [13, 14]. Патогенетическое воздействие сероводорода проявляется в виде ингибирования цитохромоксидазы митохондрий и блокирования

электрон-транспортной цепи, что отражается на образовании АТФ. Это ведет к асфиксии и системным повреждениям центральной нервной системы [15, 16]. Воздействие аммиака и сероводорода обуславливает развитие у свиней респираторных патологий; дистрофических изменений в нервной, сердечно-сосудистой, пищеварительной и кроветворной системах; формирование вторичных иммунодефицитных состояний и т.д. (рис. 1). Загрязнение воздуха аммиаком и сероводородом также негативно влияет на фертильность свиней [17].

Аммиак и сероводород негативно воздействуют на организм свиней и в субпороговых (низких) концентрациях. Хроническая низкодозовая экспозиция аммиака оказывает стрессовое воздействие, нарушая взаимосвязи в оси «легкие — кишечник» и снижая барьерную функцию слизистых оболочек [19, 20]. При этом аммиак связывается с гемоглобином, уменьшая его кислородтранспортную способность [17]. Низкие концентрации сероводорода (H_2S) провоцируют состояние гипометаболизма и выступают фактором риска развития гиперхолестеринемии [21, 22].

Несмотря на то, что свиньи в промышленных условиях выращивания постоянно подвергаются хроническому и низко дозовому воздействию аммиака и сероводорода, исследования, в которых проанализирована зависимость их концентрации от физиологического состояния животных, мало численны. Данные исследования могут подчеркнуть необходимость разработки эффективной технологии их мониторинга в воздухе свиноводческих помещений, а также разработки методов снижения их концентрации.

Цель данного исследования — оценка изменчивости концентраций аммиака и сероводорода в составе воздуха свиноводческих помещений в зависимости от их производственной нагрузки.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

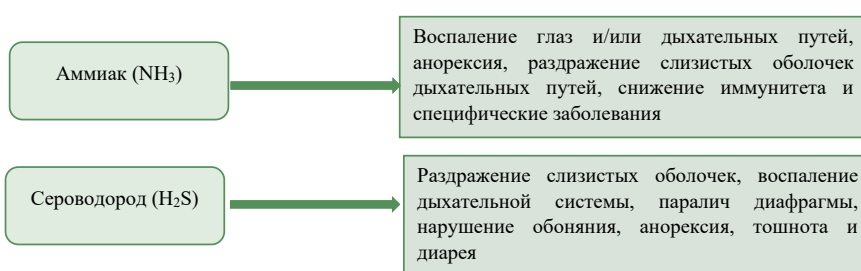
Исследовательская часть работы выполнена на одном из товарных свинокомплексов ООО «Агрофирма Ариант» (Челябинская область, Российская Федерация) в период февраль-июнь 2025 года.

Объектом исследования являлись свиноматки — помеси первого поколения F1 (помеси Йоркшир × Ландрас, осеменные спермой хряков породы Дюрок). В ходе репродуктивного цикла они перемещались по производственным помещениям технологического модуля для свиноматок:

1. Цех опороса, предназначенный для содержания свиноматок до и после

Рис. 1. Негативное влияние на здоровье животных токсичных газов, как загрязнителей воздуха [18]

Fig. 1. Negative impact on animal health of toxic gases as air pollutants [18]



опороса (в данный цех свиноматок переводили на сроке супоросности 112 дней; средний срок опороса — 116-ый день супоросности, длительность подсосного периода 21 день);

2. Цех осеменения, в условиях которого свиноматки содержались в период осеменения (средний сервис-период 12 дней) и подтверждения беременности методом УЗИ на 28-30 день после осеменения.

3. Цех ожидания, в который свиноматок переводили после подтверждения беременности и содержали до 112 дня супоросности.

Каждый производственный цех свиноводческого комплекса разделен на секторы, количество которых зависит от его функционального назначения. Секторы оборудованы индивидуальными клетками для содержания свиноматок. Площадь клетки дифференцирована в соответствии с физиологическим состоянием животных и спецификой технологического процесса: в цехе опороса — 6,66 м²; в цехе осеменения — 1,45 м²; цехе ожидания — 2,05 м². Система обеспечения животных кормами и питьевой водой реализуется в автоматическом режиме. Питательность комбикормов для свиноматок регламентирована рекомендациями Genesus¹ в зависимости от их физиологического состояния.

Технология содержания свиноматок, независимо от вида цеха, базировалась на соблюдении принципа «пусто — занято». Это предусматривало наличие санитарных разрывов, в ходе которых в освобождающихся секторах проводился комплекс мероприятий, позволяющий обеспечить необходимый уровень санитарно-гигиенического состояния воздуха перед «заселением» новой технологической группы животных. Во всех цехах использовалась приточно-вытяжная вентиляция с кратностью воздухообмена 4–6 объемов в час, контролируемой по температуре и влажности.

На свиноводческом предприятии используется технология подпольного хранения жидкого навоза. Экскременты, поступающие в подпольные навозные ванны, удаляются с поверхности щелевого пола клеток гидросмывом; хранятся от 14 до 21 суток в зависимости от объема ванн. Жидкий свиной навоз в период его хранения в подпольных навозохранилищах служит источником поступления токсичных газов в воздух свиноводческих помещений.

Для контроля концентрации аммиака и сероводорода в производственных помещениях свиноматок проводили отбор проб воздуха в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 16000-1 — 2007². Для этих целей использовали переносной многокомпонентный газоанализатор «Комета М» (ООО «ГазПриборы», Россия). Прибор оснащен фитингами, при помощи которых происходит

принудительная подача воздуха на газочувствительные сенсоры. Газоанализатор перед выполнением работы прошел поверку в условиях ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Челябинской области» (ФБУ «Челябинский ЦСМ»).

Забор проб воздуха в секторе осуществлялся с использованием фитинга на высоте усредненной зоны дыхания свиноматок с учетом изменения их поведения в ходе репродуктивного цикла. Высота определялась как среднее значение с учетом времени, проводимого животными в положениях «лежа» и «стоя» [23]. При этом использовали кратковременный режим отбора проб, при котором ее объем не превышал 10% газообмена. Пробы в каждом секторе брали в шахматном порядке в 5 точках по диагонали, включая точки у приточных каналов, центре секции и у вытяжных шахт утром, в середине дня и вечером. Это позволило получить среднесуточную концентрацию газа в секторе.

Для выполнения работы в цехе осеменения была сформирована технологическая группа свиноматок, размещенная в отдельном секторе и передвигающаяся далее в один из секторов цеха ожидания, а затем цеха опороса (период февраль-июнь). Движение свиноматок по помещениям технологического модуля определялось изменением их физиологического состояния. В технологической схеме использования сектора в рамках определенного цеха выделяли:

- контрольный период (КП), соответствующий периоду санитарного разрыва. Газовый состав воздуха измерялся в период подготовки сектора к размещению технологической группы (n = 5);

- опытный период (ОП) — период непосредственного содержания технологической группы свиноматок. Кратность отбора проб определялась длительностью содержания свиноматок в различных цехах с учетом их физиологического состояния. В цехе опороса свиноматки содержались 25–26 суток, проходя последовательные физиологические стадии: поздний срок супоросности → роды → лактация. Отбор проб воздуха осуществлялся с периодичностью 1 раз в трое суток, что позволило получить 8 независимых измерений на цикл содержания. В цехе осеменения длительность содержания свиноматок составляла 40–42 суток; физиологический статус изменялся в динамике «холостые → период осеменения → свиноматки с неустановленной супоросностью», определяя относительно стабильный «активный образ жизни». В цехе ожидания супоросные свиноматки содержались 82–84 суток, проявляли относительно стабильную малоподвижность. Это позволило на участке осеменения (n = 6) и ожидания (n = 11) использовать менее частый режим мониторинга (1 раз в неделю) без потери репрезентативности

¹ Genesus стратегия кормления [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://genesus.com/wp-content/uploads/2018/08/Nutrition-Genesus-June-21-2018-Russian.pdf> (дата обращения 17.12.2025).

² ГОСТ Р ИСО 16000-1 – 2007 Воздух замкнутых помещений. Часть 1. Отбор проб. Общие положения

данных. Средние величины по газовому составу воздуха рассчитывали с учетом количества среднесуточных определений (n) для каждой выборки.

Результаты исследований были подвергнуты статистической обработке с использованием пакета анализа Microsoft Excel (США), в котором были использованы для расчетов программы по созданию и обработке электронных таблиц. Для каждого помещения определяли средние концентрации газов (X), стандартную ошибку средней (m_x), коэффициент вариации (C_v), дисперсию (D), моду (Mo) и медиану (Me); влияние фактора «Цех» на концентрацию газов определено методом ANOVA.

Ограничения исследования:

- ✓ исследование выполнено на одном свиноводческом комплексе, поэтому результаты могут не полностью отражать ситуацию на других предприятиях с иными технологическими решениями;
- ✓ не оценивался вклад сезонных колебаний (исследование проводилось с февраля по июнь);
- ✓ отсутствует прямое измерение метаболической активности свиноматок (потребление корма, теплопродукция) для подтверждения причинно-следственных связей.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ данных по газовому составу воздушной среды в помещениях технологического модуля для содержания свиноматок выполнили в двух направлениях:

1. Сравнительный анализ воздуха в производственных зонах по концентрации аммиака (NH_3) и сероводорода (H_2S) для установления различий между контрольным и опытным периодами их эксплуатации.

2. Оценка зависимости эмиссии газов в воздух свиноводческих помещений от физиологического состояния свиноматок на различных этапах репродуктивного цикла.

Данный подход позволил охарактеризовать изменчивость газового состава воздуха в сопряженности с технологическими и биологическими факторами. Этому способствовал и тот факт, что концентрацию аммиака (NH_3) и сероводорода (H_2S) определяли при последовательном перемещении одних и тех же свиноматок в секторы

цехов в соответствии с этапами репродуктивного цикла. Объем выборки среднесуточных значений был соразмерен продолжительности технологических периодов и являлся достаточным для предварительной оценки полученного цифрового материала.

Установлено, что в контрольный период (период санитарного разрыва) концентрация исследуемых газов была в 2,27–3,21 раза меньше, чем в опытный (табл. 1). Это свидетельствовало о том, что свиньи прямо или косвенно являются важнейшим источником эмиссии газов в свиноводческих помещениях [24]. При этом в контрольный период зафиксирован более высокий коэффициент вариации признаков ($C_v = 15,49–29,39\%$) на фоне более низких абсолютных концентрационных значений газов, что обусловлено эффективностью санитарных мероприятий и нестабильностью остаточного газового фона. В опытный период было выявлено снижение вариативности признаков ($C_v = 8,96–13,07\%$), что свидетельствовало о формировании стабильного характера загрязнения воздушной среды при отсутствии резких эмиссионных пиков.

Анализ распределения газов в воздушной среде свиноводческих помещений выявил прямую зависимость между математическим ожиданием и дисперсией исследуемых величин. Рост абсолютных значений дисперсии (для NH_3 и H_2S в контрольный и опытный периоды) при увеличении средних концентраций являлся статистически закономерным для концентрационных данных (табл. 1).

Сохранение стабильности коэффициентов вариации в контрольный и опытный периоды на уровне средней и низкой изменчивости подтверждало идентичность механизмов газораспределения. С ростом концентрации газов в воздухе изменялась амплитуда колебаний, отражая интенсивность их эмиссии и характер распределения: чем выше концентрация газа, тем более равномерно он распределяется по объему сектора, формируя стабильный газовый фон.

При оценке влияния физиологического состояния свиноматок на концентрацию газов в воздухе было установлено, что уровень аммиака и сероводорода закономерно возрастал в технологической последовательности «цех опороса — цех

Таблица 1. Количество токсичных газов (mg/m^3) в помещениях для свиноматок

Table 1. Amount of toxic gases (mg/m^3) in sow rooms

Показатель	Цех опороса				Цех осеменения				Цех ожидания			
	NH_3		H_2S		NH_3		H_2S		NH_3		H_2S	
	кп	оп	кп	оп	кп	оп	кп	оп	кп	оп	кп	оп
$X \pm m_x$	1,46 $\pm$ 0,16	3,62 $\pm$ 0,15*	0,37 $\pm$ 0,04	1,19 $\pm$ 0,05*	1,98 $\pm$ 0,15	5,23 $\pm$ 0,24*	0,80 $\pm$ 0,05	2,01 $\pm$ 0,07*	4,24 $\pm$ 0,31	11,21 $\pm$ 0,36*	1,43 $\pm$ 0,15	3,35 $\pm$ 0,13*
C_v , %	24,08	11,34	26,34	13,07	16,52	11,40	15,65	8,96	16,48	10,73	23,44	12,85
$D(x)$	0,13	0,17	0,01	0,02	0,21	0,33	0,02	0,03	0,49	1,45	0,11	0,18
Mo	1,33	–	–	1,20	–	–	0,77	1,90	–	12,00	1,57	3,80
Me	1,38	3,56	0,33	1,20	2,03	5,23	0,77	1,95	4,22	11,20	1,48	3,40

Примечание: * — различия между опытным и контрольным периодами статистически значимы ($p \leq 0,05$)

³ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 29 марта 2016 г. № 114 «Об утверждении Ветеринарных правил содержания свиней в целях их воспроизводства, выращивания и реализации». Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71337730/?ysclid=mny63fyr6w708527228> (дата обращения 14.04.2026).

осеменения — цех ожидания» (табл. 1). Минимальные значения зарегистрировали в цехе опороса ($3,62 \pm 0,15$ и $1,19 \pm 0,05$ мг/м³), максимальные — в цехе ожидания ($11,21 \pm 0,36$ и $3,35 \pm 0,13$ мг/м³). Суммарный прирост концентрации аммиака и сероводорода составил 3,09 и 2,82 раза соответственно.

Необходимо отметить, что уровень H₂S в цехах технологического модуля для свиноматок был в 2,47–3,86 раза ниже содержания NH₃. Данное соотношение отражает различия в химической природе данных газов, сорбционной способности и специфике механизмов их образования в навозных стоках.

Следует отметить, что несмотря на варьирование концентрации аммиака и сероводорода в воздухе свиноводческих помещений, уровень газов не превышал предельно-допустимых концентраций (ПДК). Согласно приказу Министерства сельского хозяйства РФ № 114 от 29 марта 2016 г.³, ПДК составляют для аммиака (NH₃) 20,00 мг/м³; сероводорода (H₂S) 10,00 мг/м³.

Результаты определения концентрации газов в контрольный период эксплуатации сектора (период санитарного разрыва) показали, что отклонение уровня аммиака от ПДК составляло от 92,70 (цех опороса) до 78,80% (цех ожидания); для сероводорода от 96,30 (цех опороса) до 85,70% (цех ожидания) (рис. 2). В опытный период (в период содержания технологической группы животных) отклонения концентрации аммиака в воздушной среде от ПДК варьировали от 81,90 (цех опороса) до 43,92% (цех ожидания); для сероводорода от 88,10 (цех опороса) до 66,50% (цех ожидания). Наименьшее отклонение от ПДК (наибольшее приближение к предельно допустимому уровню) зафиксировано в цехе ожидания в опытный период: концентрация аммиака составила 56,00% от ПДК, сероводорода 32,50% (рис. 2). Следовательно, содержание токсичных газов как в контрольный, так и опытный периоды производственного цикла не превышало установленных ПДК, то есть санитарное состояние воздушной среды соответствовало категории «не загрязненная», свидетельствуя об эффективности применяемых технологических и санитарно-гигиенических мероприятий на свиноводческом предприятии.

Для оценки вида распределения данных по концентрации аммиака и сероводорода в воздушной среде помещений технологического модуля для свиноматок было выполнено сравнение трех ключевых мер центральной тенденции: среднего арифметического значения признака, его медианы (Me) и моды (Mo) (рис. 3, 4).

Во-первых, для следующих выборок: концентрации аммиака в цехе опороса (опытный период), в цехе осеменения (контрольный и опытный периоды) и в цехе ожидания (контрольный период); концентрации сероводорода в цехе опороса (контрольный период) не выявлены модальные значения.

Рис. 2. Динамика отклонения средних показателей от ПДК (%) в контрольный и опытный периоды производственной эксплуатации сектора

Fig. 2. Dynamics of deviation of average indicators from the MPC (%) in the control and experimental periods of the production operation of the sector

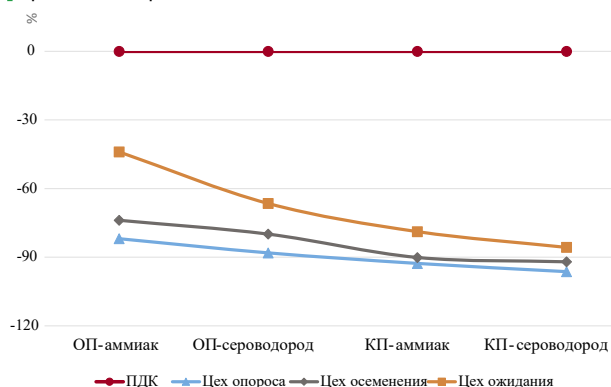


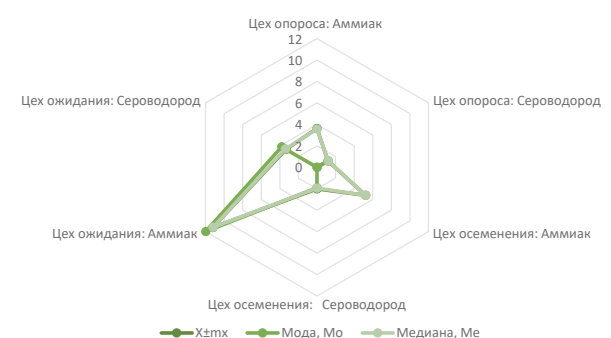
Рис. 3. Динамика средних, модальных и медианных показателей газового состава воздуха в помещении для свиноматок различных технологических групп в контрольный период

Fig. 3. Dynamics of average, modal and median parameters of the gas composition of indoor air for sows of various technological groups during the control period



Рис. 4. Динамика средних, модальных и медианных показателей газового состава воздуха в помещении для свиноматок различных технологических групп в опытный период

Fig. 4. Dynamics of average, modal and median parameters of the gas composition of indoor air for sows of various technological groups during the experimental period



Это обстоятельство не ограничивает методологическую корректность анализа.

Отсутствие моды объясняется тем, что в массиве данных нет повторяющихся значений. Это не противоречит гипотезе о возможной симметрии распределения, поскольку мода как мера центральной тенденции информативна преимущественно для дискретных данных с выраженной частотой повторения значений.

Во-вторых, для большей части выборок концентрации аммиака и сероводорода (как в

контрольном, так и опытном периодах) выявлено наличие слабой асимметрии. Количественно это подтверждается близостью значений среднего арифметического, медианы и моды (в выборках, в которых она определялась) (рис. 3, 4). Слабая асимметрия позволяет считать распределение данных приближенно нормальным, что дает возможность использовать для дальнейшего статистического анализа параметрические критерии (в частности, ANOVA).

Поскольку условия вентиляции (тип, интенсивность, режим работы вентиляционной системы) во всех исследуемых цехах технологического модуля для свиноматок были идентичными, то выявленные различия в концентрации токсичных газов между цехами в опытный период целесообразно связывать с физиологическим состоянием свиноматок (лактация, холостое состояние, период осеменения, стадии супоросности). Оно определяет уровень потребления корма, метаболическую активность клеток органов и тканей, эффективность процессов усвоения корма и т.д. в соответствии с фазой репродуктивного цикла [25, 26].

Для проверки данной гипотезы был проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) (табл. 2). Он показал, что фактор «цех» (и как следствие, фаза репродуктивного цикла свиноматок, сопряженная с физиологическим статусом организма) оказал доминирующее влияние на изменчивость концентрации аммиака и сероводорода в воздушной среде. Доля факториальной дисперсии (η^2) составила 94,58% для аммиака и 91,14% для сероводорода. Значения t -критерия (191,9 и 113,2) подтверждают статистическую значимость выявленных различий между секторами цехов при уровне значимости $p < 0,001$.

Для оценки синхронности изменений уровней NH_3 и H_2S в производственных цехах в процессе перемещения свиноматок (обусловленного изменением их физиологического состояния) были рассчитаны парные коэффициенты корреляции Пирсона между концентрациями газов (табл. 3).

Выявлена неоднородность корреляционных связей между аммиаком и сероводородом в зависимости от функционального назначения цеха. В цехе опороса связь практически отсутствовала ($r = -0,05$), указывая, как на независимые источники эмиссии газов, так и на разную динамику выделения аммиака и сероводорода в воздушную среду. В цехе осеменения наблюдалась умеренная положительная корреляция ($r = +0,49$), отражающая сложность взаимосвязей между условиями содержания и кормления животных, их поведенческой активностью, биохимическими процессами в организме свиноматок и навозной среде, и определяющая однонаправленную

Таблица 2. Доля влияния технологических групп свиноматок в зависимости от фазы репродуктивного цикла на загазованность помещений

Table 2. The proportion of the influence of technological groups of sows, depending on the phase of the reproductive cycle, on indoor gas pollution

Показатель	η^*	$\eta^2 \times$ – Доля влияния фактора, %	Ошибка	td**
Аммиак (NH_3)	0,97	94,58	0,49	191,87
Сероводород (H_2S)	0,95	91,14	0,81	113,15

Примечание: * корреляционное отношение; ** $p < 0,001$ при $td > 9,6$

Таблица 3. Коэффициенты корреляции токсичных газов в помещениях для свиноматок разных технологических групп в зависимости от фазы репродуктивного цикла

Table 3. Correlation coefficients of toxic gases in rooms for pigs of different technological groups depending on the phase of the reproductive cycle

Показатель	Газ	Аммиак (NH_3)	Характер связи
Цех опороса		$r = -0,048$ ($p > 0,05$)	Незначительная
Цех осеменения	Сероводород (H_2S)	$r = +0,488$ ($p < 0,05$)	Умеренная
Цех ожидания		$r = +0,639$ ($p < 0,01$)	Средняя (выраженная)

динамику газов в воздушной среде. В цехе ожидания зафиксирована значимая положительная корреляция ($r = +0,64$), характерная для синхронного накопления обоих загрязнителей при общих процессах разложения органики при относительно стабильном физиологическом состоянии и низкой двигательной активности супоросных свиноматок.

Таким образом, в формировании газового состава воздуха в свиноводческих помещениях технологического модуля свиноматок важную роль играло присутствие животных и изменение их физиологического состояния в ходе репродуктивного периода, а также планирование санитарных и технологических мероприятий по обслуживанию помещений.

Санитарно-гигиеническое состояние воздушной среды в свиноводческих помещениях взаимосвязано с характером производственной нагрузки и спецификой технологического цикла. Важнейшими показателями санитарной чистоты воздушной среды выступают концентрации токсичных газов (аммиака, сероводорода). Данные соединения обладают выраженной токсичностью для организма свиней и могут провоцировать развитие патологических процессов в дыхательной, пищеварительной, сердечно-сосудистой, иммунной и других системах [27, 28].

В ходе проведенных исследований установлено, что концентрация аммиака и сероводорода в воздухе цехов опороса, осеменения и ожидания в период санитарного разрыва снижалась более чем в два раза, по сравнению с периодом содержания технологической группы свиноматок. Это было обусловлено устранением ключевых источников газопродукции — животных и продуктов их жизнедеятельности, а также проведением комплекса санитарно-гигиенических мероприятий. Совокупность данных факторов способствовала существенному улучшению качества воздушной среды в свиноводческих помещениях.

При этом выявлено, что количество аммиака и сероводорода в воздухе цехов варьирует в

зависимости от этапа репродуктивного цикла свиноматок и периода его производственной эксплуатации (санитарный разрыв или содержание технологической группы). Количественные данные демонстрируют последовательное увеличение концентрации газов в направлении «цех опороса → цех осеменения → цех ожидания» для аммиака в 2,90–3,10 раза, для сероводорода в 2,81–3,86 раза. Основными факторами, определяющими качество воздуха в свиноводческих помещениях, являются технология хранения и утилизации свиного навоза (в т.ч. интервалы между очисткой подпольных навозохранилищ); эффективность системы вентиляции [29, 30]; плотность содержания животных (которая возрастает от цеха опороса к цеху ожидания) [5]; уровень протеина в рационе свиней, взаимосвязанный с их физиологическим состоянием и влияющий на эмиссию сероводорода и аммиака [31].

Концентрация H_2S в воздухе свиноводческих помещений, как в период санитарного разрыва, так и в период содержания технологической группы свиноматок была меньше концентрации аммиака в 2,47–3,86 раза. Различие обусловлено особенностями механизмов газопродукции. Хотя аммиак и сероводород образуются в результате микробного распада азот- и серосодержащих веществ жидкого свиного навоза, микроорганизмы предпочитают использовать в качестве субстрата азотистые соединения, а не серные [32–34], что влияет на трансформацию азота и интенсифицирует выбросы аммиака. Этому способствует и дополнительная аэрация подпольных навозохранилищ, снижающая активность сульфатредуцирующих бактерий и улучшающая процессы денитрификации [34]. При этом аммиак является летучим соединением, что облегчает его эмиссию в воздушную среду, а сероводород, наоборот, обладает высокой растворимостью в воде и преимущественно удерживается в толще навозной жижи [5].

Важно подчеркнуть, что концентрация аммиака и сероводорода в воздухе свиноводческих помещений в период санитарного разрыва и в период содержания технологической группы свиноматок не превышала предельно-допустимых концентраций (ПДК), что свидетельствует об удовлетворительном санитарно-гигиеническом состоянии и эффективной работе системы вентиляции.

Однако существенные различия по газовому составу воздуха в период санитарного разрыва и в период содержания технологической группы свиноматок указывают на значимую роль животных в формировании уровней аммиака и сероводорода в воздушной среде помещений. Последовательное увеличение количества газов в направлении «цех опороса → цех осеменения → цех ожидания» отражает зависимость газопродукции от физиологического статуса свиноматок. Физиологический статус влияет на метаболическую активность клеток органов и тканей, потребление и усвоение корма, выделение экскрементов,

теплопродукцию, двигательную активность и т.д. [35, 36].

Для оценки влияния фактора «Цех» (эквивалентно критерию «физиологический статус свиноматок») был выполнен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Его результаты показали, что данный фактор оказывает достоверное влияние на концентрации аммиака и сероводорода в воздушной среде свиноводческих помещений. Наименьшее количество токсичных газов в воздухе цеха опороса обусловлено совокупностью физиологических свойств свиноматок (низкая двигательная активность, контролируемое потребление корма) и технологических параметров содержания (равномерное распределение воздуха, поддержание оптимального воздухообмена, преобладание количества поросят-сосунков над свиноматками) [37, 38]. Перемещение свиноматок из цеха опороса в цех осеменения и ожидания сопровождается повышением плотности размещения поголовья, изменением физической активности животных, уровня потребления корма, интенсивности метаболизма и газообразования, теплопродукции, равномерности и объема выделения экскрементов и т.д. [30]. В совокупности это служило одной из причин увеличения концентрации токсичных газов в воздухе свиноводческих помещений.

Доминирующее влияние фактора «Цех» на формирование газовой среды в технологических помещениях для свиноматок также определило и силу корреляционной связи между концентрациями сероводорода и аммиака. Указанная связь изменялась от незначительной (цех опороса) до средней (цех ожидания).

Выводы/Conclusions

Результаты исследований показывают, что концентрация аммиака и сероводорода в воздухе свиноводческих помещений зависит от цеха и его технологического назначения. В период санитарного разрыва (контрольный период) концентрация аммиака и сероводорода в 2,27–3,21 раза ниже, чем в период содержания технологической группы свиноматок (опытный период). Это подтверждает, что свиньи являются основным источником эмиссии токсичных газов в свиноводческих помещениях.

В период санитарного разрыва низким абсолютным концентрациям газов соответствует коэффициент вариации $C_v = 15,49–29,39 \%$, тогда как в период содержания технологической группы свиноматок при более высоком уровне газов коэффициент вариации составляет $C_v = 8,96–13,07\%$. Данное различие влияет на равномерность распределения газов в объеме помещений.

Концентрации аммиака и сероводорода возрастают в последовательности «цех опороса → цех осеменения → цех ожидания» в 2,90–3,10 и 2,81–3,86 раза соответственно (в контрольный и опытный периоды). Концентрация NH_3 превышает

уровень H_2S в технологических помещениях для свиноматок в 2,47–3,86 раза, что характеризует различия в механизмах их образования. При этом уровень токсичных газов не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК) во все периоды эксплуатации помещений.

Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) показал, что фактор «Цех» обуславливает 94,58% изменчивости концентрации аммиака и 91,14% — сероводорода ($p < 0,001$). Характер корреляционной связи между газами изменяется от незначительной (цех опороса, $r = -0,048$) до выраженной положительной (цех ожидания, $r = +0,639$), что отражает усиление синхронности эмиссии при увеличении плотности содержания и

стабилизации физиологического состояния животных.

Следовательно, формирование газового состава воздуха в свиноводческих помещениях определяется присутствием животных, изменчивостью их физиологического состояния в ходе репродуктивного цикла, а также эффективностью санитарно-гигиенических и технологических мероприятий.

Полученные данные могут быть использованы для оптимизации условий содержания свиноматок (дифференцированный режим вентиляции по цехам) и разработки методов снижения эмиссии токсичных газов (корректировка рационов, частота удаления навоза) в свиноводческих помещениях.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках гранта Министерства образования и науки Челябинской области в форме субсидии на создание региональной молодежной лаборатории № 184/6 от 25.12.2024 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Philippe F.-X., Nicks B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015; 199: 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.015>
- Комякова Е.М., Антонова О.И. Состав навоза КРС и свиней, особенности использования и перспективы переработки. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020; (6): 63–68. EDN OOSGQZ
- Hanum F., Atsuta Y., Daimon H. Methane Production Characteristics of an Anaerobic Co-Digestion of Pig Manure and Fermented Liquid Feed. *Molecules*. 2022; 27(19): 6509. <https://doi.org/10.3390/molecules27196509>
- Ciganek M., Neca J. Chemical characterization of volatile organic compounds on animal farms. *Veterinárni medicína*. 2008; 53(12): 641–651. <https://doi.org/10.17221/1969-VETMED>
- Пилип Л.В. Метод очистки воздуха от запахообразующих веществ свиноматок. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019; (4): 137–146. EDN UCGZAY
- Hasan M.K. et al. Revolutionizing pig farming: Japan's technological innovations and environmental strategies for sustainability. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2025; 12(2): 454–476. <https://doi.org/10.5455/javar.2025.1912>
- Pirlo G. et al. Environmental impact of heavy pig production in a sample of Italian farms. A cradle to farm-gate analysis. *Science of The Total Environment*. 2016; 565: 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.174>
- Wang L., Li D. Current status, challenges and prospects for pig production in Asia. *Animal Bioscience*. 2024; 37(4): 742–754. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0303>
- Lv G. et al. Mitigation of odor emissions by replacing soybean meal with unconventional protein ingredients: Assessment via *in vitro* simulated fermentation. *Environmental Technology & Innovation*. 2026; 41: 104749. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2026.104749>
- Wu H., Liu Y., Dai C., Ye Y., Zhu H., Fang W. Life-cycle comparisons of economic and environmental consequences for pig production with four different models in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024; 31(14): 21668–21686. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32541-5>
- Ni J.-Q., Erasmus M.A., Croney C.C., Li C., Li Y. A critical review of advancement in scientific research on food animal welfare-related air pollution. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 408: 124468. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124468>

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 within the framework of a grant from the Ministry of Education and Science of the Chelyabinsk region in the form of a subsidy for the creation of a regional youth laboratory No. 184/6 dated 12/25/2024.

REFERENCES

- Philippe F.-X., Nicks B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015; 199: 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.015>
- Komyakova Ye.M., Antonova O.I. The composition of cattle and swine manure, features of use and prospects for recycling. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020; (6): 63–68 (in Russian). EDN OOSGQZ
- Hanum F., Atsuta Y., Daimon H. Methane Production Characteristics of an Anaerobic Co-Digestion of Pig Manure and Fermented Liquid Feed. *Molecules*. 2022; 27(19): 6509. <https://doi.org/10.3390/molecules27196509>
- Ciganek M., Neca J. Chemical characterization of volatile organic compounds on animal farms. *Veterinárni medicína*. 2008; 53(12): 641–651. <https://doi.org/10.17221/1969-VETMED>
- Pilip L.V. Method of air cleaning from odor-forming substances originating from pig complexes. *Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*. 2019; (4): 137–146 (in Russian). EDN UCGZAY
- Hasan M.K. et al. Revolutionizing pig farming: Japan's technological innovations and environmental strategies for sustainability. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2025; 12(2): 454–476. <https://doi.org/10.5455/javar.2025.1912>
- Pirlo G. et al. Environmental impact of heavy pig production in a sample of Italian farms. A cradle to farm-gate analysis. *Science of The Total Environment*. 2016; 565: 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.174>
- Wang L., Li D. Current status, challenges and prospects for pig production in Asia. *Animal Bioscience*. 2024; 37(4): 742–754. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0303>
- Lv G. et al. Mitigation of odor emissions by replacing soybean meal with unconventional protein ingredients: Assessment via *in vitro* simulated fermentation. *Environmental Technology & Innovation*. 2026; 41: 104749. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2026.104749>
- Wu H., Liu Y., Dai C., Ye Y., Zhu H., Fang W. Life-cycle comparisons of economic and environmental consequences for pig production with four different models in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024; 31(14): 21668–21686. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32541-5>
- Ni J.-Q., Erasmus M.A., Croney C.C., Li C., Li Y. A critical review of advancement in scientific research on food animal welfare-related air pollution. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 408: 124468. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124468>

12. Andretta I. *et al.* Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 750733. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750733>
13. Kim K.Y. *et al.* Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental Management*. 2008; 88(2): 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.02.003>
14. Shi Z., Xi L., Wang Y., Zhao X. Chronic Exposure to Environmental Pollutant Ammonia Causes Damage to the Olfactory System and Behavioral Abnormalities in Mice. *Environmental Science & Technology*. 2023; 57(41): 15412–15421. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c04875>
15. Connolly S., Krol D.J., Kelleghan D., O'Flaherty V. Hydrogen sulphide inhibition in cattle slurry by use of an oxygen based slurry amendment. *Process Safety and Environmental Protection*. 2025; 193: 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.11.022>
16. Hu X., Chi Q., Liu Q., Wang D., Zhang Y., Li S. Atmospheric H₂S triggers immune damage by activating the TLR-7/MyD88/NF- κ B pathway and NLRP3 inflammasome in broiler thymus. *Chemosphere*. 2019; 237: 124427. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124427>
17. Yang L.-L. *et al.* Toxic effects and possible mechanisms of hydrogen sulfide and/or ammonia on porcine oocyte maturation *in vitro*. *Toxicology Letters*. 2018; 285: 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.12.019>
18. Buoi E., Cialini C., Costa A. Air Quality Assessment in Pig Farming: The Italian Classyfarm. *Animals*. 2023; 13(14): 2297. <https://doi.org/10.3390/ani13142297>
19. Yang J. *et al.* Translocation of probiotics via gut–lung axis enhanced pulmonary immunity of weaned piglets exposed to low concentrations of ammonia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024; 284: 116821. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116821>
20. Wang Q. *et al.* Ammonia Exposure Induced Cilia Dysfunction of Nasal Mucosa in the Piglets. *BioMed Research International*. 2020; 2020: 1705387. <https://doi.org/10.1155/2020/1705387>
21. Stein A. *et al.* Metabolic and cardiac signaling effects of inhaled hydrogen sulfide and low oxygen in male rats. *Journal of Applied Physiology*. 2012; 112(10): 1659–1669. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01598.2011>
22. Kotseva K. Occupational exposure to low concentrations of carbon disulfide as a risk factor for hypercholesterolaemia. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2000; 74(1): 38–42. <https://doi.org/10.1007/s004200000186>
23. Барзанова Е.Н., Щербakov П.Н., Дерхо М.А. Влияние препарата Микрозим на показатели белкового обмена растущих свиней на фоне снижения уровня аммиака и сероводорода в газовой среде производственных помещений. *АПК России*. 2023; 30(1): 59–66. EDN RDBTES
24. Барзанова Е.Н. Влияние газовой среды производственного помещения свиноводческого комплекса на естественную резистентность свиней. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; (1): 183–188. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-111-1-183-188>
25. van Riet M.M.J., Millet S., Langendries K.C.M., van Zelst B.D., Janssens G.P.J. Association between methylation potential and nutrient metabolism throughout the reproductive cycle of sows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2019; 103(3): 858–867. <https://doi.org/10.1111/jpn.13078>
26. Liu H. *et al.* Microbial and metabolic alterations in gut microbiota of sows during pregnancy and lactation. *The FASEB Journal*. 2019; 33(3): 4490–4501. <https://doi.org/10.1096/fj.201801221RR>
27. Волощук В.М., Герасимчук В.Н. Сезонная зависимость содержания аммиака и сероводорода в помещении для дорастивания поросят от способа подачи воздуха. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. 2017; 20(2): 211–217. EDN HINVWB
28. Сыс Л.В., Сыс С.А. Основные факторы, негативно влияющие на состояние животных в условиях ряда свиноводческих хозяйств. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2022; (3): 26–29. EDN TJGZMZ
29. Liu Z., Powers W., Murphy J., Maghirang R. Ammonia and hydrogen sulfide emissions from swine production facilities in North America: A meta-analysis. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(4): 1656–1665. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7160>
12. Andretta I. *et al.* Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 750733. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750733>
13. Kim K.Y. *et al.* Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental Management*. 2008; 88(2): 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.02.003>
14. Shi Z., Xi L., Wang Y., Zhao X. Chronic Exposure to Environmental Pollutant Ammonia Causes Damage to the Olfactory System and Behavioral Abnormalities in Mice. *Environmental Science & Technology*. 2023; 57(41): 15412–15421. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c04875>
15. Connolly S., Krol D.J., Kelleghan D., O'Flaherty V. Hydrogen sulphide inhibition in cattle slurry by use of an oxygen based slurry amendment. *Process Safety and Environmental Protection*. 2025; 193: 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.11.022>
16. Hu X., Chi Q., Liu Q., Wang D., Zhang Y., Li S. Atmospheric H₂S triggers immune damage by activating the TLR-7/MyD88/NF- κ B pathway and NLRP3 inflammasome in broiler thymus. *Chemosphere*. 2019; 237: 124427. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124427>
17. Yang L.-L. *et al.* Toxic effects and possible mechanisms of hydrogen sulfide and/or ammonia on porcine oocyte maturation *in vitro*. *Toxicology Letters*. 2018; 285: 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.12.019>
18. Buoi E., Cialini C., Costa A. Air Quality Assessment in Pig Farming: The Italian Classyfarm. *Animals*. 2023; 13(14): 2297. <https://doi.org/10.3390/ani13142297>
19. Yang J. *et al.* Translocation of probiotics via gut–lung axis enhanced pulmonary immunity of weaned piglets exposed to low concentrations of ammonia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024; 284: 116821. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116821>
20. Wang Q. *et al.* Ammonia Exposure Induced Cilia Dysfunction of Nasal Mucosa in the Piglets. *BioMed Research International*. 2020; 2020: 1705387. <https://doi.org/10.1155/2020/1705387>
21. Stein A. *et al.* Metabolic and cardiac signaling effects of inhaled hydrogen sulfide and low oxygen in male rats. *Journal of Applied Physiology*. 2012; 112(10): 1659–1669. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01598.2011>
22. Kotseva K. Occupational exposure to low concentrations of carbon disulfide as a risk factor for hypercholesterolaemia. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2000; 74(1): 38–42. <https://doi.org/10.1007/s004200000186>
23. Barzanova E.N., Shcherbakov P.N., Derkho M.A. The influence of the drug microsim on protein metabolism parameters of growing pigs against the background of a decrease in the level of ammonia and hydrogen sulfide in the gas-air environment of industrial premises. *Agro-industrial complex of Russia*. 2023; 30(1): 59–66 (in Russian). EDN RDBTES
24. Barzanova E.N. The influence of the gas-air environment of the production premises of a pig-breeding complex on the natural resistance of pigs. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; (1): 183–188 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-111-1-183-188>
25. van Riet M.M.J., Millet S., Langendries K.C.M., van Zelst B.D., Janssens G.P.J. Association between methylation potential and nutrient metabolism throughout the reproductive cycle of sows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2019; 103(3): 858–867. <https://doi.org/10.1111/jpn.13078>
26. Liu H. *et al.* Microbial and metabolic alterations in gut microbiota of sows during pregnancy and lactation. *The FASEB Journal*. 2019; 33(3): 4490–4501. <https://doi.org/10.1096/fj.201801221RR>
27. Voloshchuk V.M., Gerasimchuk V.N. Seasonal dependence of ammonia and hydrogen sulfide content in a piglet rearing room on the air supply method. *Current problems of intensive development of animal husbandry*. 2017; 20(2): 211–217 (in Russian). EDN HINVWB
28. Sysa L.V., Sysa S.A. The main factors negatively influencing the state of animals in the conditions of a series of pig farms. *Animal agriculture and veterinary medicine*. 2022; (3): 26–29 (in Russian). EDN TJGZMZ
29. Liu Z., Powers W., Murphy J., Maghirang R. Ammonia and hydrogen sulfide emissions from swine production facilities in North America: A meta-analysis. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(4): 1656–1665. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7160>

30. Raynor P.C., Engelman S., Murphy D., Ramachandran G., Bender J.B., Alexander B.H. Effects of Gestation Pens Versus Stalls and Wet Versus Dry Feed on Air Contaminants in Swine Production. *Journal of Agromedicine*. 2018; 23(1): 40–51. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2017.1387633>
31. Hou Y., Velthof G.L., Oenema O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. *Global Change Biology*. 2015; 21(3): 1293–1312. <https://doi.org/10.1111/gcb.12767>
32. Petersen S.O. Greenhouse gas emissions from liquid dairy manure: Prediction and mitigation. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(7): 6642–6654. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13301>
33. Sun Y. *et al.* Unveiling the intrinsic relationship between ammonia and hydrogen sulfide generation during composting. *Environmental Technology & Innovation*. 2025; 39: 104298. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104298>
34. Zhang Z. *et al.* Effective role and mechanism of scrap iron filings in controlling hydrogen sulfide production in septic tanks. *Journal of Hazardous Materials*. 2025; 492: 138114. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138114>
35. Leeb C. *et al.* Effects of three husbandry systems on health, welfare and productivity of organic pigs. *Animal*. 2019; 13(9): 2025–2033. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000041>
36. Ludwiczak A., Skrzypczak E., Składanowska-Baryza J., Stanis M., Słósz P., Racewicz P. How Housing Conditions Determine the Welfare of Pigs. *Animals*. 2021; 11(12): 3484. <https://doi.org/10.3390/ani11123484>
37. Einarsson S. *et al.* A 25 years experience of group-housed sows—reproduction in animal welfare-friendly systems. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2014; 56: 37. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-56-37>
38. Yao R., Cools A., Matthijs A., Deyn P.P.D., Maes D., Janssens G.P.J. Peculiarities in the Amino Acid Composition of Sow Colostrum and Milk, and Their Potential Relevance to Piglet Development. *Veterinary Sciences*. 2023; 10(4): 298. <https://doi.org/10.3390/vetsci10040298>
39. Wallgren P., Johansson S.-E., Kirk M., Mattsson P., Lindahl L., Zoric M. Varied residential options for gestating sows ensured welfare and productivity. *Porcine Health Management*. 2025; 11: 63. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00477-y>
30. Raynor P.C., Engelman S., Murphy D., Ramachandran G., Bender J.B., Alexander B.H. Effects of Gestation Pens Versus Stalls and Wet Versus Dry Feed on Air Contaminants in Swine Production. *Journal of Agromedicine*. 2018; 23(1): 40–51. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2017.1387633>
31. Hou Y., Velthof G.L., Oenema O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. *Global Change Biology*. 2015; 21(3): 1293–1312. <https://doi.org/10.1111/gcb.12767>
32. Petersen S.O. Greenhouse gas emissions from liquid dairy manure: Prediction and mitigation. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(7): 6642–6654. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13301>
33. Sun Y. *et al.* Unveiling the intrinsic relationship between ammonia and hydrogen sulfide generation during composting. *Environmental Technology & Innovation*. 2025; 39: 104298. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104298>
34. Zhang Z. *et al.* Effective role and mechanism of scrap iron filings in controlling hydrogen sulfide production in septic tanks. *Journal of Hazardous Materials*. 2025; 492: 138114. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138114>
35. Leeb C. *et al.* Effects of three husbandry systems on health, welfare and productivity of organic pigs. *Animal*. 2019; 13(9): 2025–2033. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000041>
36. Ludwiczak A., Skrzypczak E., Składanowska-Baryza J., Stanis M., Słósz P., Racewicz P. How Housing Conditions Determine the Welfare of Pigs. *Animals*. 2021; 11(12): 3484. <https://doi.org/10.3390/ani11123484>
37. Einarsson S. *et al.* A 25 years experience of group-housed sows—reproduction in animal welfare-friendly systems. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2014; 56: 37. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-56-37>
38. Yao R., Cools A., Matthijs A., Deyn P.P.D., Maes D., Janssens G.P.J. Peculiarities in the Amino Acid Composition of Sow Colostrum and Milk, and Their Potential Relevance to Piglet Development. *Veterinary Sciences*. 2023; 10(4): 298. <https://doi.org/10.3390/vetsci10040298>
39. Wallgren P., Johansson S.-E., Kirk M., Mattsson P., Lindahl L., Zoric M. Varied residential options for gestating sows ensured welfare and productivity. *Porcine Health Management*. 2025; 11: 63. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00477-y>

ОБ АВТОРАХ

Павел Николаевич Щербаков

доктор ветеринарных наук, профессор
scherbakov_pavel@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8685-4645>

Марина Аркадьевна Дерхо

доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой естественно-научных
дисциплин
derkho2010@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

Светлана Анатольевна Гриценко

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

Ольга Анатольевна Гуменюк

кандидат биологических наук, доцент
gumenyk74@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9846-5919>

Максим Владимирович Ческидов

кандидат технических наук, доцент
mister.aspirant@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5281-6226>

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

ABOUT THE AUTHORS

Pavel Nikolaevich Shcherbakov

Doctor of Veterinary Sciences, Professor
scherbakov_pavel@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8685-4645>

Marina Arkadyevna Derkho

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>

Svetlana Anatolyevna Gritsenko

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

Olga Anatolyevna Gumenyuk

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
gumenyk74@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9846-5919>

Maxim Vladimirovich Cheskidov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
mister.aspirant@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5281-6226>

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

З.Х. Межиева ✉

А.В. Моторыгин

Н.С. Абросимова

А.Н. Панин

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

✉ zarina@vgnki.ru

Поступила в редакцию: 05.11.2025

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Межиева З.Х., Моторыгин А.В.,
Абросимова Н.С., Панин А.Н.

Разработка комбинированного энтеросорбента на основе диоксида кремния с иммобилизованными антитоксическими антителами для специфической профилактики и лечения эшерихиоза молодняка сельскохозяйственных животных

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Настоящий обзор посвящен актуальной проблеме профилактики и лечения бактериальных желудочно-кишечных инфекций у молодняка сельскохозяйственных животных, в частности эшерихиоза. Традиционная терапия, включая парентеральное введение гипериммунных сывороток, имеет ограниченную эффективность из-за недостаточной доставки антитоксических антител в просвет кишечника. В качестве перспективной альтернативы рассматривается разработка комбинированных энтеросорбентов нового поколения, совмещающих свойства носителя и специфического антитоксина.

Методы. В работе проведен анализ современных подходов к модификации поверхности сорбентов для иммобилизации биологически активных молекул. Особое внимание уделено химической функционализации на основе силанизации с использованием 3-аминопропилтриэтоксисилана (APTES) как методу, обеспечивающему формирование стабильных ковалентных связей между поверхностью диоксида кремния и антителами. Обобщены сведения о существующих классах энтеросорбентов, применяемых в животноводстве, и обоснован выбор высокодисперсного диоксида кремния в качестве оптимальной платформы для создания таргетного препарата.

Результаты. Практическая значимость работы заключается в научном обосновании подхода к созданию инновационного средства для специфической профилактики эшерихиоза, которое обеспечит направленную доставку и пролонгированную активность антитоксических антител непосредственно в очаге инфекции, что позволит снизить экономический ущерб в животноводстве.

Ключевые слова: комбинированный энтеросорбент, эшерихиоз молодняка, антитоксические антитела, диоксид кремния (SiO_2), иммобилизация белков, силанизация (APTES), специфическая профилактика

Для цитирования: Межиева З.Х., Моторыгин А.В., Абросимова Н.С., Панин А.Н. Разработка комбинированного энтеросорбента на основе диоксида кремния с иммобилизованными антитоксическими антителами для специфической профилактики и лечения эшерихиоза молодняка сельскохозяйственных животных. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 66–78.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-66-78>

Zarina Kh. Mezhieva ✉

Anton V. Motorygin

Nadezhda S. Abrosimova

Alexander N. Panin

All-Russian State Center for Quality
and Standardization of Medicines for
Animals and Feed, Moscow, Russia

✉ zarina@vgnki.ru

Received by the editorial office: 05.11.2025

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Mezhieva Z.Kh., Motorygin A.V.,
Abrosimova N.S., Panin A.N.

Development of a Combined Enterosorbent Based on Silicon Dioxide with Immobilized Antitoxic Antibodies for Specific Prophylaxis of Escherichiosis in Young Animals

ABSTRACT

Relevance. This review addresses the current challenge of preventing and treating bacterial gastrointestinal infections in young farm animals, specifically escherichiosis. Conventional therapy, including the parenteral administration of hyperimmune sera, has limited efficacy due to insufficient delivery of antitoxic antibodies to the intestinal lumen. The development of next-generation combined enterosorbents, which integrate the properties of a carrier and a specific antitoxin, is considered a promising alternative.

Methods. The work presents an analysis of modern approaches to modifying sorbent surfaces for the immobilization of biologically active molecules. Particular attention is paid to chemical functionalization based on silanization using 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) as a method that ensures the formation of stable covalent bonds between the silicon dioxide surface and antibodies. Information on existing classes of enterosorbents used in animal husbandry is summarized, and the choice of highly dispersed silicon dioxide as an optimal platform for creating a targeted drug is justified.

Results. The practical significance of the work lies in the scientific rationale for an approach to creating an innovative agent for the specific prophylaxis of escherichiosis. This agent will provide targeted delivery and prolonged activity of antitoxic antibodies directly at the site of infection, thereby helping to reduce economic losses in animal husbandry.

Key words: combined enterosorbent, escherichiosis in young animals, antitoxic antibodies, silicon dioxide (SiO_2), protein immobilization, silanization (APTES), specific prophylaxis

For citation: Mezhieva Z.Kh., Motorygin A.V., Abrosimova N.S., Panin A.N. Development of a Combined Enterosorbent Based on Silicon Dioxide with Immobilized Antitoxic Antibodies for Specific Prophylaxis of Escherichiosis in Young Animals. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 66–78 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-66-78>

Введение/Introduction

Нарушения функций пищеварительной системы, сопровождающиеся диарейным синдромом, в ранний постнатальный период занимают доминирующее положение в структуре патологий молодняка сельскохозяйственных животных [1, 2]. Развивающаяся на фоне диареи выраженная дегидратация и токсемия определяют тяжесть течения данных заболеваний. Этиологическая структура указанных патологий отличается полиморфизмом: к их возникновению могут приводить различные виды бактерий, вирусов, грибов, простейших, а также их многочисленные ассоциации [3]. Среди бактериальных инфекций, регистрируемых в условиях промышленного животноводства, статистически значимое распространение имеет эшерихиоз — остро или подостро протекающая болезнь, наносящая существенный экономический ущерб вследствие высокой летальности, задержки роста и снижения продуктивности переболевших животных [4].

Нейтрализация токсинов инфекционного происхождения остается одной из наиболее сложных задач в биомедицинских исследованиях [5–7]. Эта проблема определяет постоянный поиск новых терапевтических стратегий, выходящих за рамки традиционных решений.

Классические антитоксины — например, специфические антитела — действительно служат ключевым инструментом, блокируя активность токсинов или предотвращая их связывание с клеточными мишенями. Однако их практическое применение сталкивается с рядом принципиальных ограничений. К ним относятся низкая стабильность терапевтических молекул, недостаточная биодоступность в целевых тканях, риск иммуногенности, а также сложность сохранения функциональной активности в биологических средах [8].

Хотя современные подходы к инаktivации токсинов продолжают развиваться [9], эффективность существующих средств на основе малых молекул или антител часто оказывается недостаточной с точки зрения клинических требований к специфичности и профилю безопасности [10]. В этой связи стратегически важным направлением становится разработка модифицированных антитоксинов. Их создание основано на целенаправленном изменении физико-химических свойств и рациональной инженерии поверхности, что позволяет достичь высокоточной и эффективной нейтрализации токсинов.

Комбинированный энтеросорбент на основе диоксида кремния с ковалентно иммобилизованными антителами к токсинам *E. coli* преодолевает ограничения традиционной парентеральной терапии за

счет локальной доставки антитоксических молекул непосредственно в просвет кишечника, что обеспечивает синергический эффект — адсорбцию бактерий и специфическую нейтрализацию токсинов в одной платформе.

Цель исследования заключается в комплексном анализе существующих стратегий энтеросорбции и методов модификации поверхности наноматериалов для разработки научно-технического подхода к созданию нового вида комбинированного сорбента. Такой сорбент должен обеспечивать направленную доставку и иммобилизацию специфических антитоксинов в желудочно-кишечном тракте с целью повышения эффективности профилактики и лечения бактериальных энтероинфекций (на примере эшерихиоза) у молодняка животных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Систематический аналитический обзор нами проводился в соответствии с принципами PRISMA-ScR. Поиск литературы выполнялся в базах данных PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Google Scholar и электронных библиотеках издательств (Elsevier, Springer и др.). Дополнительно использовался ручной поиск по спискам цитирования. Глубина поиска — с 2007 по 2023 г.

Стратегия поиска использовала комбинацию терминов по ключевым блокам, представлена ниже (Рис 1.)

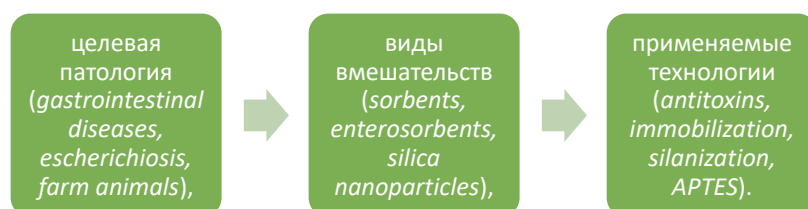
Выборка источников научной литературы была проведена с учетом следующих критериев:

- Исследования *in vitro*, *in vivo*, теоретические работы по проблеме.
- Применение энтеросорбентов и/или технологии модификации материалов для иммобилизации биомолекул.
- Данные об эффективности сорбции, детоксикации, характеристиках модифицированных материалов.
- Оригинальные исследования, обзоры, работы по материаловедению.

Отбор проводился двумя независимыми исследователями в два этапа (скрининг по заголовкам/аннотациям, оценка полных текстов). Из отобранных статей извлекались данные об авторах, методах, результатах и выводах для последующего тематического анализа.

Рис 1. Стратегия поиска научных статей с учетом комбинации терминов

Fig. 1. A search strategy for scientific articles using a combination of terms.



Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для корректной оценки, согласно цели и методов научного поиска, было проанализировано более 100 рецензируемых научных публикаций, которые разделены на несколько направлений.

Функционализированные наноматериалы как платформы для доставки антитоксинов

Разработка эффективных наноплатформ для доставки антитоксинов — это всегда многофакторная задача. Ее решение начинается с выбора «рабочего элемента» — самого антитоксина, который будет определять специфичность всего комплекса [6, 7]. Этот выбор, в свою очередь, диктуется структурой целевого токсина, а именно доступностью тех самых эпитопов, которые нужно заблокировать.

Далее встает вопрос о практическом воплощении идеи. Физико-химические свойства создаваемой платформы напрямую диктуют стратегию ее применения — например, способ введения (перорально или инъекционно) будет зависеть от того, где именно должен действовать комплекс [8]. Не менее важны и чисто технологические аспекты: стабильность препарата при хранении, совместимость компонентов между собой и возможность масштабировать производство [9]. Для борьбы со сложными, поливалентными токсинами логичным видится комбинация нескольких антитоксинов на одной носителе, что может дать синергетический эффект [10].

Отдельно хотим подчеркнуть роль геометрии наночастицы. Это не просто техническая деталь, а ключевой функциональный параметр. Малые размеры и изогнутая поверхность, как у графена, позволяют частице проникать в труднодоступные участки и создают уникальные условия для связывания [11, 12]. С другой стороны, вытянутые структуры — стержни или диски — предоставляют большую площадь для множественных контактов с мишенью, значительно усиливая прочность связывания (авидность) [11].

Формачастицы продолжает эту логику. Анизометричные конструкции (стержни, эллипсоиды) можно ориентировать таким образом, чтобы активные центры оптимально «подходили» к эпитопам токсина [13]. В то время как сферические частицы, хоть и проще в синтезе и воспроизводимости, лишены такого направленного преимущества [14]. Наконец, нельзя забывать, что морфология определяет судьбу частицы в организме: от ее формы и размера напрямую зависят распределение в тканях и эффективность поглощения целевыми клетками [15, 16].

Выбор материала носителя определяет биосовместимость и судьбу

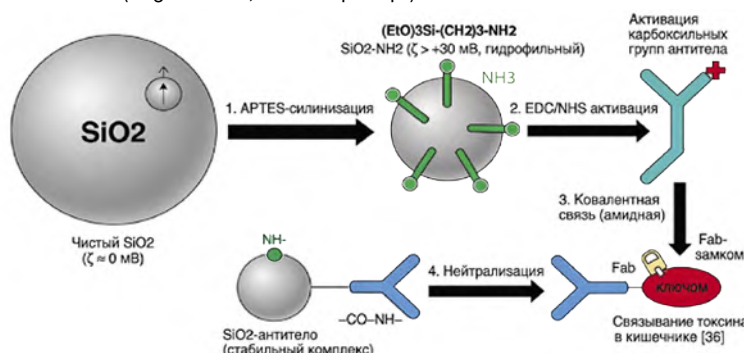
наноплатформы *in vivo*. Биополимеры (например, хитозан, альгинат) обеспечивают контролируемую биоразлагаемость, минимизируя риски долгосрочного накопления и системной токсичности [17]. Липидные наносистемы (липосомы, мицеллы) представляют собой универсальную платформу для инкапсуляции гидрофильных и гидрофобных соединений, позволяя гибко управлять способом загрузки и высвобождения активного агента [18, 19]. Напротив, неорганические наночастицы на основе золота, кремния или оксидов металлов характеризуются высокой структурной стабильностью и инертностью в физиологических средах, что обеспечивает длительную циркуляцию и точное нацеливание [20]. Независимо от природы материала, критическое значение для успешного применения имеет общая стабильность комплекса и возможность тонкой настройки его фармакокинетического профиля [21, 22].

Для защиты активных компонентов и управления их высвобождением применяются стратегии инкапсуляции. Заключение антитоксинов в биоразлагаемую полимерную матрицу предохраняет их от преждевременной деградации в агрессивной среде желудочно-кишечного тракта [23]. Управление кинетикой высвобождения позволяет поддерживать терапевтическую концентрацию в очаге инфекции, повышая эффективность и снижая побочные эффекты [24]. Перспективным направлением является создание систем, чувствительных к специфическим стимулам (изменение pH, температуры, присутствие ферментов), которые обеспечивают контролируемое высвобождение нагрузки в ответ на биологические сигналы, соответствующие динамике инфекционного процесса [25, 26].

Эффективность модифицированных антитоксинов в первую очередь определяется свойствами их поверхности, которые управляют распознаванием мишени и силой связывания. Основной стратегией является химическая функционализация поверхности путем введения специфических групп ($-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$, $-\text{SH}$), создающих точки для ковалентной иммобилизации антитоксинов или прямого взаимодействия с токсинами (Рис. 2) [27].

Рис. 2. Схема APTES-модификации SiO_2 для иммобилизации антитоксических антител (Сгенерировано ИИ¹, промт автора)

Fig. 2. Scheme of APTES modification of SiO_2 for immobilization of antitoxic antibodies (AI generated, author's prompt)



¹ https://alice.yandex.ru/prompthub/?from=tableau_dt

Гидрофильность модифицированной поверхности повышает коллоидную стабильность комплексов в биологических жидкостях и облегчает контакт с водорастворимыми токсинами, тогда как гидрофобные модификации оптимальны для связывания липофильных токсинов [28, 29]. Дальнейшее совершенствование возможно за счет применения методов, в том числе искусственного интеллекта, позволяющих предсказывать наиболее эффективные комбинации функциональных групп для заданной мишени и моделировать сценарии взаимодействия, что значительно ускоряет дизайн платформ [30, 31].

Альтернативный или комплементарный подход — нанесение на поверхность биомолекул или лигандов (антител, пептидов, углеводов), избирательно распознающих специфические эпитопы на токсине. Это создает биомиметическую среду, повышает селективность связывания и минимизирует нецелевые эффекты [32].

Важным направлением является разработка систем, чувствительных к изменению pH. Такие комплексы могут претерпевать конформационные перестройки в кислой среде (например, в эндосомах), что обеспечивает контролируемое высвобождение активного агента непосредственно в клеточных компартментах [33]. Существенное влияние на начальные этапы взаимодействия «платформа-токсин» оказывает и поверхностный заряд (дзета-потенциал), определяемый ионными группами. Оптимизация заряда позволяет управлять электростатическим притяжением или отталкиванием, что критически важно для эффективности связывания заряженных токсинов и стабильности самих нанок комплексов [34, 35].

Молекулярные основы избирательного связывания антитоксинов

Известно, что механизм действия функционализированных антитоксинов основан на принципе комплементарного молекулярного распознавания по типу «ключ-замок». Специфичность обеспечивается точным пространственным совмещением участков связывания на поверхности нейтрализующего комплекса с эпитопами токсина. Данный процесс опосредован совокупностью нековалентных взаимодействий: водородные связи обеспечивают направленность и селективность, электростатические силы — первичное притяжение между разноименно заряженными группами, а силы Ван-дер-Ваальса (дисперсионные и диполь-дипольные) вносят вклад в общую энергию связывания и тонкую настройку комплекса [36]. Сравнение методов иммобилизации

антитоксических антител на сорбентах представлено в таблице 1.

Концепция электростатического соответствия, при которой распределение заряда на поверхности нейтрализующего комплекса дополняет распределение заряда на токсинах, усиливает электростатические взаимодействия и особенно ценна для токсинов с заряженными областями [37]. В сценариях, связанных с высокими концентрациями токсинов, кинетика распознавания становится решающей. Оптимизированные кинетические свойства обеспечивают быстрое и эффективное связывание, минимизируя окно возможностей для токсинов проявить свои эффекты [38]. Токсины часто представляют разнообразные эпитопы/сайты связывания на своих поверхностях, и модифицированные антитоксины с многовалентными взаимодействиями стратегически используют это разнообразие [39]. Нацеливаясь на несколько эпитопов одновременно, они повышают avidность взаимодействия, усиливая общую прочность связывания нейтрализующего комплекса-токсина [40]. Результирующее более высокое сродство связывания от многовалентных взаимодействий вытекает из кооперативного влияния множественных событий связывания, в совокупности усиливающих взаимодействие [41]. Это повышенное сродство имеет решающее значение для надежного захвата токсина, снижая риск уклонения токсина по сравнению с одновалентными взаимодействиями. Секвестрация включает в себя стратегическую изоляцию и ограничение токсинов для предотвращения их неблагоприятного воздействия на клетки-хозяева.

Иммобилизация токсинов на или внутри модифицированного антитоксина значительно снижает их способность взаимодействовать с клетками/тканями хозяина и наносить им вред [42]. Этот процесс влечет за собой пространственную изоляцию токсинов, ограничивая их перемещение и диффузию в биологической среде. Ограничивая токсины, секвестрация не позволяет им достигать целевых участков или взаимодействовать с клеточными рецепторами, тем самым смягчая их токсическое воздействие [43]. Защита биологических систем зависит от нейтрализации или удаления патогенных токсинов, вырабатываемых различными микроорганизмами, такими как бактерии, вирусы и грибы. Эти токсины вызывают различные пагубные эффекты, начиная от повреждения клеток и заканчивая системной недостаточностью органов [44]. Эффективная нейтрализация необходима для смягчения тяжести инфекционных заболеваний, предотвращения

Таблица 1. Сравнение методов иммобилизации антитоксических антител на сорбентах

Table 1. Comparison of antitoxin antibody immobilization methods on sorbent carriers

Метод	Преимущества	Недостатки	Примеры применения
APTES-силинизация	Стабильные ковалентные связи	Требует гидролиза и промывки	SiO ₂ -наночастицы
EDC/NHS активация	Эффективно для Si-поверхностей	Менее стабильны <i>in vivo</i>	Пористый кремний
Физическая адсорбция	Простота, быстрота применения	Низкая специфичность	Enterogel®

стойких последствий для здоровья и укрепления общей устойчивости иммунной системы [39].

Перспективность подхода, основанного на использовании функционализированных наноматериалов для нейтрализации патогенных токсинов, находит прямое и убедительное подтверждение в ряде экспериментальных исследований. Эти работы не просто демонстрируют техническую возможность, но выявляют ключевые закономерности, критически важные для дизайна подобных систем. Так, в работе *Manayani et al.* [45] был предложен инновационный бифункциональный подход к противостоянию сибирской язвы. Авторами были созданы химерные вирусоподобные частицы (VLP), которые одновременно выполняют роль высокоаффинного антитоксина и эффективной вакцины против летального токсина *Bacillus anthracis*. Было продемонстрировано, что данные конструкции не только эффективно нейтрализуют токсин *in vitro*, конкурируя с клеточными рецепторами, но и обеспечивают надежную защиту *in vivo*. Особенно важно отметить, что однократное введение таких VLP индуцировало мощный специфический иммунный ответ без применения адъювантов, а стабильность образующегося комплекса «частица-токсин» подчеркивает их потенциал как безопасных и высокоиммуногенных средств.

Другой наглядной иллюстрацией таргетного подхода служит исследование *Kulkarni et al.* [46], где для нейтрализации шига-токсинов (Stx) использовали многовалентные золотые глико-наночастицы (AuNP). Концепция заключалась в создании «приманки»: поверхность наночастиц функционализировали гликановыми лигандами, имитирующими естественные рецепторы на клетках-мишенях. Результаты показали прямую и жесткую корреляцию между ингибирующей активностью и плотностью гликанов на поверхности. Максимальная нейтрализация токсинов Stx1 и Stx2 наблюдалась только при полном покрытии (соотношение 100:0). Любое снижение плотности лигандов (соотношения 75:25 и 50:50) приводило к резкому, на порядок, снижению эффективности. Полное отсутствие активности при соотношении 25:75 авторы объясняют увеличением расстояния между лигандами сверх порога, необходимого для одновременного мультивалентного связывания. Это блестяще подтверждает, что эффективность платформы определяется не просто фактом функционализации, а тонкой пространственной организацией активных центров.

Sarwar S. et al. исследовали противохолерные свойства наночастиц оксида цинка (ZnO) [47]. Концентрация ZnO (10 мкг/мл) была специально подобрана как суббактерицидная, чтобы избежать прямого влияния на рост *Vibrio cholerae* и оценить именно воздействие на холерный токсин. Этот пример важен, так как напоминает о необходимости строгого учета сопутствующей биологической активности материала-носителя. Цинк, как известно, обладает выраженным антимикробным

действием, и при более высоких концентрациях ингибирование бактериальных клеток могло бы исказить интерпретацию данных по нейтрализации токсина.

Классификация и применение энтеросорбентов в кормлении животных

В современных системах кормления сельскохозяйственных животных для детоксикации и профилактики широко применяются специальные кормовые добавки — энтеросорбенты. Их введение в рационы направлено на минимизацию воздействия токсикантов, поступающих с кормом и водой, что вторично снижает риск попадания данных веществ в пищевую цепь человека [48]. Наиболее распространены энтеросорбенты минерального происхождения, такие как алюмосиликаты, цеолиты и глаукониты, опыт применения которых для решения экологических и зоотехнических задач значителен. В животноводстве эти природные материалы используют не только для снижения токсической нагрузки, связанной с загрязнителями и радионуклидами, но и в качестве кормовых добавок, положительно влияющих на продуктивность [48].

Ключевые категории энтеросорбентов включают угольные, кремниевые, полимерные сорбенты и препараты на основе сверхвысокодисперсного диоксида. Так, пероральные адсорбенты на основе активированного угля способны снижать оксидантный стресс и миелотоксичность, что открывает перспективы для их использования в смягчении побочных эффектов лекарственной терапии [48]. В экспериментальных исследованиях на моделях острой печеночной недостаточности было продемонстрировано, что введение высокоактивированных угольных сорбентов уменьшало проявления оксидантного стресса и способствовало частичному восстановлению нативной конформации сывороточного альбумина [49].

Особое место занимают энтеросорбенты на основе монтмориллонита, проявляющие дозозависимую противодиарейную активность. Их эффективность подтверждается увеличением латентного периода до развития диареи, снижением частоты и объема стула, а также предотвращением гипотрофии кишечных ворсинок, по данным морфометрического анализа [50–54]. Природные сорбенты данной группы эффективны для профилактики и терапии желудочно-кишечных патологий. Например, их применение при дизентерии свиней способствовало нормализации кишечных функций, увеличению среднесуточных привесов, а также повышению резистентности и репродуктивных показателей [52]. Разработаны также высокоэффективные составы на основе монтмориллонитовых глин для сорбции стойких органических загрязнителей, таких как полихлорированные бифенилы [51]. Альтернативным направлением является использование энтеросорбентов на основе растительного сырья, в частности коры пихты, показавшее потенциал в профилактике желудочно-кишечных инфекций в условиях промышленных

животноводческих и птицеводческих ферм [53].

Кремнийорганические (или гидрогелевые) энтеросорбенты, такие как полигидрат полиметилсилоксана (известный как «Энтеросгель»), занимают особое место в арсенале средств детоксикации. Их эффективность базируется не на простой абсорбции, а на уникальном механизме избирательной адсорбции. Молекулярная структура этих гелей позволяет им «просеивать» содержимое кишечника, связывая преимущественно средномолекулярные токсины, метаболиты и аллергены, при этом практически не затрагивая полезные вещества и защищая слизистую оболочку. Именно сочетание гидрофобных свойств и молекулярной селективности делает их препаратами выбора во многих клинических ситуациях [54].

Более широкий класс — полимерные энтеросорбенты — объединяет препараты на основе как синтетических, так и природных полимеров (например, того же полиметилсилоксана или модифицированного хитозана). Их объединяет общий принцип действия: за счет разветвленной пористой структуры и огромной удельной поверхности они эффективно связывают широкий спектр вредных агентов непосредственно в просвете ЖКТ. Ключевое преимущество — полное отсутствие системной абсорбции: весь комплекс «сорбент-токсин» выводится физиологическим путем, что минимизирует риски побочных эффектов [55].

С точки зрения классификации, внутри этой группы можно выделить два перспективных направления. Первое — это хорошо изученные и широко применяемые силаны, такие как «Энтеросгель». Второе — активно исследуемые производные хитозана. Последние представляют особый интерес благодаря своей биосовместимости и уникальной способности хелатировать ионы тяжелых металлов, что открывает возможности для создания специализированных энтеросорбентов [54, 56].

Отдельного внимания заслуживает современная ветвь развития — энтеросорбенты на основе сверхвысокодисперсного диоксида кремния. Это, по сути, эволюция кремнийсодержащих сорбентов, доведенная до нового технологического уровня. За счет наноразмерных частиц и иерархической пористости они обладают беспрецедентно высокой удельной поверхностью. Обилие активных силанольных групп ($-Si-OH$) на этой поверхности обеспечивает исключительную сорбционную емкость. Клинически эти препараты четвертого поколения зарекомендовали себя как эффективные средства для купирования острых состояний, таких как диарея и аллергические реакции, обеспечивая быструю детоксикацию и восстановление функций ЖКТ [54, 57]. Их появление знаменует переход от простого связывания к управляемой сорбции на молекулярном уровне.

Поверхность сверхвысокодисперсного диоксида кремния характеризуется наличием гидроксильных групп, которые позволяют связывать и

адсорбировать различные вредные вещества, включая бактерии, вирусы, аллергены и токсины. После связывания эти вещества выводятся из организма с калом, способствуя естественному процессу детоксикации. Чрезвычайно малый размер частиц и большая площадь поверхности этих энтеросорбентов повышают их способность взаимодействовать с токсинами в просвете кишечника и нейтрализовать их. Эти энтеросорбенты используются для детоксикации организма и поддержания функциональной целостности пищеварительной системы. Клинические исследования продемонстрировали их эффективность в сокращении продолжительности и тяжести острой диареи по сравнению с плацебо-терапией. Они используются в составе комплексной терапии пищевой аллергии, способствуя выведению аллергенных веществ из желудочно-кишечного тракта [58].

Разработаны высокоэффективные энтеросорбенты полихлорированных бифенилов, загрязняющих окружающую среду (воду, продукты питания, биоту) с использованием монтмориллоновых глин. Установлено, что природные сорбенты на основе монтмориллонита эффективны для профилактики и лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта. Энтеросорбенты, полученные из материалов, содержащих монтмориллонит, были предложены для лечения дизентерии свиней. Исследования показали, что их применение может восстановить нормальную работу кишечника, увеличить прирост живой массы, улучшить репродуктивную функцию и устойчивость к болезням. Исследования также продемонстрировали потенциал использования энтеросорбентов из коры пихты для профилактики и лечения желудочно-кишечных инфекций у животных, особенно на птицефабриках и свиноводческих фермах [51].

Энтеросорбенты способствуют нормализации микрофлоры кишечника, улучшению пищеварения и состояния слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, а также укреплению гепатобилиарной и иммунной систем. Эти эффекты способствуют быстрому уменьшению клинических симптомов и улучшению прогноза заболевания.

Преимуществом энтеросорбции является ее низкая инвазивность и минимальные побочные эффекты, что делает ее подходящей для использования как во время роста опухоли, так и при лечении. Энтеросорбенты нормализуют микробиоту кишечника, снижают иммуносупрессию, вызванную опухолью, и улучшают условия для противоопухолевого иммунного ответа.

Основное различие между энтеросорбентами общего действия и селективными энтеросорбентами заключается в их избирательной способности. Энтеросорбенты общего действия не обладают селективностью и поглощают широкий спектр веществ в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ). Одним из недостатков энтеросорбции

является потенциальное взаимодействие с перорально принимаемыми препаратами и нарушение их фармакокинетики во время их совместного нахождения в желудочно-кишечном тракте. В то же время селективные энтеросорбенты предназначены для связывания конкретных токсинов, патогенов и метаболитов, минимизируя ненужное связывание полезных малых молекул, таких как нутриенты или определенные лекарственные препараты [56].

Для характеристики энтеросорбентов введено понятие активной поверхности сорбента [59]. Согласно современным представлениям, при выборе энтеросорбента необходимо учитывать структуру пористости сорбента (соотношение пор различного радиуса в энтеросорбенте и соответственно площади пассивной и активной абсорбционных поверхностей). Это позволяет определить скорость и селективность действия энтеросорбента и оценить площадь его активной поверхности. Площадь активной поверхности обратно пропорциональна размеру частиц. Чем меньше размер частиц, тем больше общая площадь активной поверхности и сорбционная емкость энтеросорбента. Соответственно, от сорбционной емкости зависит дозировка, обеспечивающая необходимый терапевтический эффект [60].

Лечебный эффект энтеросорбентов складывается из нескольких взаимосвязанных процессов, которые работают как единый защитный механизм. Прямое действие — это связывание экзогенных ядов и токсинов, а также эндогенных продуктов нарушенного метаболизма, патогенных бактерий и даже раздражающих газов в просвете кишечника. Однако их роль не сводится только к простому «сбору мусора». Важно понимать, что, удаляя эти агенты, сорбенты прерывают патологические цепи. Они опосредованно снижают токсико-аллергические реакции, разгружают естественные системы детоксикации (печень, почки), способствуют восстановлению барьерной функции и целостности слизистой оболочки, а также нормализуют моторную функцию кишечника. То есть, они не просто очищают, а создают условия для восстановления саморегуляции.

Именно благодаря такому комплексному, патогенетически обоснованному действию, энтеросорбенты нашли столь широкое применение. Их используют далеко за пределами гастроэнтерологии — в токсикологии, аллергологии, инфекционной практике, дерматологии и даже в комплексной терапии в онкологии, нефрологии и гепатологии [61]. Это один из немногих классов средств с истинно поливалентным действием.

Необходимо четко осознавать и практические ограничения. Ключевое правило — необходимость раздельного приема с другими лекарствами и пищей. Интервал должен составлять не менее 1,5–2 часов, так как неселективные сорбенты могут связывать не только токсины, но и жизненно важные нутриенты, витамины или активные

компоненты других препаратов. Курс приема, как правило, не должен быть длительным (часто около 5 дней), а его эффективность напрямую зависит от своевременности начала: чем раньше, тем выше результат [62].

Таким образом, механизмы энтеросорбции при патологии ЖКТ действительно разнообразны и зависят от типа сорбента. Но их общая цель одна: прервать порочный круг эндотоксикоза путем удаления широкого спектра вредных агентов — от токсинов и метаболитов до медиаторов воспаления и самих патогенов. Это приводит не только к уменьшению конкретных симптомов (диареи, интоксикации), но и к системному оздоровительному эффекту.

Для повышения эксплуатационных и функциональных характеристик природных минералов применяются разнообразные методы физико-химической модификации. Эти методы направлены на изменение структуры материала, что приводит к увеличению его удельной поверхности и числа обменных центров. В результате усиливаются сорбционные и ионообменные свойства минералов. Например, преобразование природных глинов в Na-форму улучшает их ионообменные способности и диспергируемость в воде. Этот процесс включает замещение протонов в (-ОН)-обменных центрах и увеличение межплоскостного расстояния в структуре глауконита. Na-форма легко диспергируется при перемешивании, а ионы Na^+ могут быть легко замещены другими катионами [63, 64].

Мобилизованный комплекс сыворотки и сама мобилизованная сыворотка на модифицированном диоксиде кремния может проявить значительную устойчивость в том числе к ферментным системам бактериальных клеток. Общеизвестно, что иммобилизованные белки, в том числе белки сыворотки устойчивы не только к температуре, изменению pH и действию агрессивных веществ, а также могут проявлять устойчивость к бактериальным ферментным системам. Существующие методы иммобилизации в значительной степени нивелируют недостатки белковых структур путем их физической локализации в определенной области пространства, что приводит к ограничению движения и специфическим структурным изменениям. Фиксация белков может им позволить стать более стабильными и устойчивыми к различным условиям окружающей среды с увеличенным сроком службы. Общеизвестны различные классификации методов иммобилизации. Ковалентное связывание, адсорбция, сшивание, инкапсуляция, ионная связь и аффинная связь являются обычными методами иммобилизации белков. В целом, эти методы иммобилизации белков можно разделить на химические и физические методы. Эти методы вместе с характеристиками вспомогательных материалов, например, гидрофиличность, низкая стоимость производства, биосовместимость и устойчивость к суровым

физиохимическим условиям, являются экономически целесообразными при получении иммобилизованных белков с оптимальной устойчивостью и увеличенной эффективностью [65].

Применение силанизации для иммобилизации биополимеров на сенсорных поверхностях

В настоящее время одним из способов стабилизации белковых структур является адсорбция белков на поверхности сорбентов. Для успешной адсорбции применяется ряд методов модификации поверхности сорбентов, одним из которых является силанизация. Реакции силанизации и гидросилилирования широко используются для модификации поверхности кремнезема перед конъюгацией биомолекул. Силанизация позволяет функционализировать поверхность через ковалентную связь между силанольными группами на поверхности и связующим агентом. Эта реакция значительно снижает окислительный гидролиз, тем самым повышая их стабильность в водных растворах [66].

Силановые связующие агенты (например, APTES) обычно используются для обеспечения стабильной связи между поверхностями кремния и органическими молекулами или биомолекулами. Реакция силанизации на поверхности кремния проводится при комнатной температуре и длится от нескольких минут до нескольких часов [67, 68]. APTES (3-аминопропилтриэтоксисилан) используется для приготовления силанового слоя на силанольной поверхности для иммобилизации биомолекул с помощью линкера, такого как глутаральдегид, для получения альдегидных функциональных групп [69, 70]. Альдегидная группа на одном конце глутаральдегида реагирует с аминогруппой из силанового слоя на поверхности наноструктуры. Напротив, другая альдегидная группа глутаральдегида реагирует с аминогруппой биомолекул, таких, как антитоксин [71].

Концепция комбинированного сорбента с иммобилизованными антителами и этапы ее реализации

На основе проведенного анализа современных сорбентов и методов биофункционализации может быть сформулирована конкретная концепция создания инновационного препарата для профилактики эшерихиоза. Ее суть заключается в создании перорального комбинированного средства на основе высокодисперсного диоксида кремния, поверхность которого модифицирована по схеме APTES-глутаральдегид для ковалентной иммобилизации специфических антитоксических антител. Такой гибридный сорбент будет обладать двойным действием: неспецифической сорбцией патогенов и токсинов за счет носителя и направленной нейтрализацией ключевых бактериальных токсинов за счет иммобилизованных антител непосредственно в просвете кишечника.

Переход от данной концепции к готовому препарату требует последовательного решения ряда научно-технических задач. Основные этапы исследований, необходимых для разработки комбинированного сорбента, представлены на Рис. 3.

Первоочередная задача — оптимизация параметров диоксида кремния (размер частиц, пористость, удельная поверхность) для максимальной сорбционной емкости и эффективной последующей модификации этап 1 на рисунке 3. Параллельно должны быть получены или отобраны высокоаффинные антитоксические антитела (этап 2), специфичные к ключевым токсинам целевого патогена (например, энтеротоксинам *E. coli*). Критической стадией является разработка и валидация протокола силанизации (APTES) и конъюгации, обеспечивающего максимальный выход иммобилизованных антител с сохранением их нейтрализующей активности. Далее проводится стандартная оценка эффективности и

Рис. 3. Блок-схема ключевых этапов исследований по разработке комбинированного энтеросорбента с иммобилизованными антителами

Fig. 3. Flowchart of key stages of research into the development of a combined enterosorbent with immobilized antibodies



безопасности — этапы 5-6: успешные лабораторные результаты должны быть подтверждены в ходе испытаний *in vivo* на модельных животных. Завершающей фазой является комплексная оценка эффективности нового препарата.

Преодоление этих этапов позволит перейти от концепции, представленной в обзоре, к созданию опытного образца инновационного ветеринарного препарата.

Выводы/Conclusions

Проведенный структурный анализ рецензируемых источников показывает, что использование сорбентов в животноводстве для профилактики и лечения желудочно-кишечных расстройств молодняка — это активно развивающееся и многообещающее направление. Существующие сорбенты, особенно на основе природных минералов, действительно помогают снизить токсическую нагрузку и уже зарекомендовали себя на практике.

Однако, как показывают данные, для борьбы именно с токсинами возбудителей инфекций, таких как кишечная палочка, нужны более целенаправленные решения. Это связано с тем, что традиционные методы введения антитоксинов (например, сывороток) часто недостаточно эффективны, так как антитела плохо достигают самого кишечника. Парентеральное введение гипериммунных сывороток имеет ограниченную эффективность именно из-за недостаточной доставки антитоксических

антител в просвет кишечника, что обосновывает поиск альтернативных стратегий.

В этой связи, обзор научной литературы указывает на перспективность одного конкретного подхода: создание комплексного препарата, где сорбент выступает не просто «губкой», а умным носителем. Идея заключается в том, чтобы прочно закрепить (иммобилизовать) специфические антитоксические антитела на поверхности сорбента, используя метод химической модификации, — силуанизацию.

Данный анализ позволяет выделить высокодисперсный диоксид кремния, модифицированный по схеме APTES-глутаральдегид, в качестве наиболее обоснованной платформы для создания перорального комбинированного сорбента с антитоксическими антителами против эшерихиоза, что важно для повышения рентабельности и безопасности животноводства. Вместе с тем, обзор выявил, что на текущий момент недостаточно экспериментальных данных *in vivo* о сохранении нейтрализующей активности иммобилизованных антител в условиях желудочно-кишечного тракта молодняка, а также отсутствуют стандартизированные протоколы оценки эффективности таких систем на моделях эшерихиоза. Следовательно, предложенная платформа является теоретически обоснованной, но требует дальнейшей доклинической верификации для подтверждения её практической применимости.

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

This research was funded by Russian Science Foundation No. 24-26-00202 <https://rscf.ru/project/24-26-00202/>

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят сотрудников кафедры микробиологии, вирусологии, эпизоотологии и ветеринарно-санитарной экспертизы Ульяновский ГАУ за помощь в редактировании и корректуре рукописи.

GRATITUDE

The authors thank the staff of the Department of Microbiology, Virology, Epizootology and Veterinary-Sanitary Expertise of the Ulyanovsk State Agrarian University for their assistance in editing and proofreading the manuscript.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Peraro MD, van der Goot F.G. Pore-forming toxins: ancient, but never really out of fashion. *Nature Reviews Microbiology*. 2016; 14: 77–92. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2015.3>
2. Dettmeyer R.B. Histopathology of Selected Trauma. Dettmeyer R.B. Forensic Histopathology. Fundamentals and Perspectives. Cham: Springer. 2018; 47–83. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77997-3_3
3. Shetty S.S. *et al.* Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon*. 2023; 9(9): e19496. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19496>
4. Qu X., Gou M., Zaidan J., Zhang K., Chen S. Challenges and Opportunities in Developing Nanoparticles for Detoxification. *Nanomedicine*. 2014; 9(16): 2437–2439. <https://doi.org/10.2217/nnm.14.168>
5. Muhammad F., Nguyen T.D.T., Raza A., Akhtar B., Aryal S. A review on nanoparticle-based technologies for biotransformation. *Drug and Chemical Toxicology*. 2017; 40(4): 489–497. <https://doi.org/10.1080/01480545.2016.1277736>
6. Lam K.-h. *et al.* Structural Insights into Rational Design of Single-Domain Antibody-Based Antitoxins against Botulinum Neurotoxins. *Cell Reports*. 2020; 30(8): 2526–2539. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.01.107>

REFERENCES

1. Peraro MD, van der Goot F.G. Pore-forming toxins: ancient, but never really out of fashion. *Nature Reviews Microbiology*. 2016; 14: 77–92. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2015.3>
2. Dettmeyer R.B. Histopathology of Selected Trauma. Dettmeyer R.B. Forensic Histopathology. Fundamentals and Perspectives. Cham: Springer. 2018; 47–83. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77997-3_3
3. Shetty S.S. *et al.* Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon*. 2023; 9(9): e19496. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19496>
4. Qu X., Gou M., Zaidan J., Zhang K., Chen S. Challenges and Opportunities in Developing Nanoparticles for Detoxification. *Nanomedicine*. 2014; 9(16): 2437–2439. <https://doi.org/10.2217/nnm.14.168>
5. Muhammad F., Nguyen T.D.T., Raza A., Akhtar B., Aryal S. A review on nanoparticle-based technologies for biotransformation. *Drug and Chemical Toxicology*. 2017; 40(4): 489–497. <https://doi.org/10.1080/01480545.2016.1277736>
6. Lam K.-h. *et al.* Structural Insights into Rational Design of Single-Domain Antibody-Based Antitoxins against Botulinum Neurotoxins. *Cell Reports*. 2020; 30(8): 2526–2539. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.01.107>

7. Manikandan P. *et al.* Identification, functional characterization, assembly and structure of ToxIN type III toxin–antitoxin complex from *E. coli*. *Nucleic Acids Research*. 2022; 50(3): 1687–1700. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab1264>
8. Kim J., De Jesus O. Medication routes of administration. Treasure Island: *StatPearls*. 2023.
9. Chan W.T., Balsa D., Espinosa M. One cannot rule them all: Are bacterial toxins-antitoxins druggable?. *FEMS Microbiology Reviews*. 2015; 39(4): 522–540. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuv002>
10. Diamant E., Torgeman A., Ozeri E., Zichel R. Monoclonal Antibody Combinations that Present Synergistic Neutralizing Activity: A Platform for Next-Generation Anti-Toxin Drugs. *Toxins*. 2015; 7(6): 1854–1881. <https://doi.org/10.3390/toxins7061854>
11. Augustine R., Hasan A., Primavera R., Wilson R.J., Thakor A.S., Kevadiya B.D. Cellular uptake and retention of nanoparticles: Insights on particle properties and interaction with cellular components. *Materials Today Communications*. 2020; 25: 101692. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101692>
12. Desai N., Pande S., Salave S., Singh T.R.R., Vora L.K. Antitoxin nanoparticles: design considerations, functional mechanisms, and applications in toxin neutralization. *Drug Discovery Today*. 2024; 29(8): 104060. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2024.104060>
13. Chang Q. Colloid and Interface Chemistry for Water Quality Control. *Academic Press*. 2016; 264. ISBN 978-0-12-809315-3 <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02506-3>
14. Joudeh N., Linke D. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology*. 2022; 20: 262. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>
15. Murugan K., Choonara Y.E., Kumar P., Bijkumar D., du Toit L.C., Pillay V. Parameters and characteristics governing cellular internalization and trans-barrier trafficking of nanostructures. *International Journal of Nanomedicine*. 2015; 10(1): 2191–2206. <https://doi.org/10.2147/IJN.S75615>
16. Zhang D., Wei L., Zhong M., Xiao L., Li H.-W., Wang J. The morphology and surface charge-dependent cellular uptake efficiency of upconversion nanostructures revealed by single-particle optical microscopy. *Chemical Science*. 2018; 9(23): 5260–5269. <https://doi.org/10.1039/C8SC01828F>
17. Nishimoto-Sauceda D., Romero-Robles L.E., Antunes-Ricardo M. Biopolymer nanoparticles: a strategy to enhance stability, bioavailability, and biological effects of phenolic compounds as functional ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102(1): 41–52. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11512>
18. Xu L., Wang X., Liu Y., Yang G., Falconer R.J., Zhao C.-X. Lipid Nanoparticles for Drug Delivery. *Advanced NanoBiomed Research*. 2022; 2(2): 2100109. <https://doi.org/10.1002/anbr.202100109>
19. Vora L., Tyagi M., Patel K., Gupta S., Vavia P. Self-assembled nanocomplexes of anionic pullulan and polyallylamine for DNA and pH-sensitive intracellular drug delivery. *Journal of Nanoparticle Research*. 2014; 16(12): 2781. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2781-8>
20. Liu Q., Kim Y.-J., Im G.-B., Zhu J., Wu Y., Bhang S.H. Inorganic Nanoparticles Applied as Functional Therapeutics. *Advanced Functional Materials*. 2021; 31(12): 2008171. <https://doi.org/10.1002/adfm.202008171>
21. Desai N., Chavda V., Singh T.R.R., Thorat N.D., Vora L.K. Cancer Nanovaccines: Nanomaterials and Clinical Perspectives. *Small*. 2024; 20(35): 2401631. <https://doi.org/10.1002/smll.202401631>
22. Phan H.T., Haes A.J. What Does Nanoparticle Stability Mean?. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2019; 123(27): 16495–16507. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b00913>
23. Khizar S. *et al.* Nanocarriers based novel and effective drug delivery system. *International Journal of Pharmaceutics*. 2023; 632: 122570. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.122570>
24. Polaka S., Desai N., Kshirsagar B., Rajpoot K., Tekade R.K. Revamping the pharmacokinetics of poorly soluble drugs using different formulations. Tekade R.K. (ed.). *Biopharmaceutics and Pharmacokinetics Considerations*. *Academic Press*. 2021; 1: 387–413. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814425-1.00005-X>
25. Blum A.P., Kammeyer J.K., Rush A.M., Callmann C.E., Hahn M.E., Gianneschi N.C. Stimuli-Responsive Nanomaterials for Biomedical Applications. *Journal of the American Chemical Society*. 2015; 137(6): 2140–2154. <https://doi.org/10.1021/ja510147n>
7. Manikandan P. *et al.* Identification, functional characterization, assembly and structure of ToxIN type III toxin–antitoxin complex from *E. coli*. *Nucleic Acids Research*. 2022; 50(3): 1687–1700. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab1264>
8. Kim J., De Jesus O. Medication routes of administration. Treasure Island: *StatPearls*. 2023.
9. Chan W.T., Balsa D., Espinosa M. One cannot rule them all: Are bacterial toxins-antitoxins druggable?. *FEMS Microbiology Reviews*. 2015; 39(4): 522–540. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuv002>
10. Diamant E., Torgeman A., Ozeri E., Zichel R. Monoclonal Antibody Combinations that Present Synergistic Neutralizing Activity: A Platform for Next-Generation Anti-Toxin Drugs. *Toxins*. 2015; 7(6): 1854–1881. <https://doi.org/10.3390/toxins7061854>
11. Augustine R., Hasan A., Primavera R., Wilson R.J., Thakor A.S., Kevadiya B.D. Cellular uptake and retention of nanoparticles: Insights on particle properties and interaction with cellular components. *Materials Today Communications*. 2020; 25: 101692. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101692>
12. Desai N., Pande S., Salave S., Singh T.R.R., Vora L.K. Antitoxin nanoparticles: design considerations, functional mechanisms, and applications in toxin neutralization. *Drug Discovery Today*. 2024; 29(8): 104060. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2024.104060>
13. Chang Q. Colloid and Interface Chemistry for Water Quality Control. *Academic Press*. 2016; 264. ISBN 978-0-12-809315-3 <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02506-3>
14. Joudeh N., Linke D. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology*. 2022; 20: 262. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>
15. Murugan K., Choonara Y.E., Kumar P., Bijkumar D., du Toit L.C., Pillay V. Parameters and characteristics governing cellular internalization and trans-barrier trafficking of nanostructures. *International Journal of Nanomedicine*. 2015; 10(1): 2191–2206. <https://doi.org/10.2147/IJN.S75615>
16. Zhang D., Wei L., Zhong M., Xiao L., Li H.-W., Wang J. The morphology and surface charge-dependent cellular uptake efficiency of upconversion nanostructures revealed by single-particle optical microscopy. *Chemical Science*. 2018; 9(23): 5260–5269. <https://doi.org/10.1039/C8SC01828F>
17. Nishimoto-Sauceda D., Romero-Robles L.E., Antunes-Ricardo M. Biopolymer nanoparticles: a strategy to enhance stability, bioavailability, and biological effects of phenolic compounds as functional ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102(1): 41–52. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11512>
18. Xu L., Wang X., Liu Y., Yang G., Falconer R.J., Zhao C.-X. Lipid Nanoparticles for Drug Delivery. *Advanced NanoBiomed Research*. 2022; 2(2): 2100109. <https://doi.org/10.1002/anbr.202100109>
19. Vora L., Tyagi M., Patel K., Gupta S., Vavia P. Self-assembled nanocomplexes of anionic pullulan and polyallylamine for DNA and pH-sensitive intracellular drug delivery. *Journal of Nanoparticle Research*. 2014; 16(12): 2781. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2781-8>
20. Liu Q., Kim Y.-J., Im G.-B., Zhu J., Wu Y., Bhang S.H. Inorganic Nanoparticles Applied as Functional Therapeutics. *Advanced Functional Materials*. 2021; 31(12): 2008171. <https://doi.org/10.1002/adfm.202008171>
21. Desai N., Chavda V., Singh T.R.R., Thorat N.D., Vora L.K. Cancer Nanovaccines: Nanomaterials and Clinical Perspectives. *Small*. 2024; 20(35): 2401631. <https://doi.org/10.1002/smll.202401631>
22. Phan H.T., Haes A.J. What Does Nanoparticle Stability Mean?. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2019; 123(27): 16495–16507. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b00913>
23. Khizar S. *et al.* Nanocarriers based novel and effective drug delivery system. *International Journal of Pharmaceutics*. 2023; 632: 122570. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.122570>
24. Polaka S., Desai N., Kshirsagar B., Rajpoot K., Tekade R.K. Revamping the pharmacokinetics of poorly soluble drugs using different formulations. Tekade R.K. (ed.). *Biopharmaceutics and Pharmacokinetics Considerations*. *Academic Press*. 2021; 1: 387–413. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814425-1.00005-X>
25. Blum A.P., Kammeyer J.K., Rush A.M., Callmann C.E., Hahn M.E., Gianneschi N.C. Stimuli-Responsive Nanomaterials for Biomedical Applications. *Journal of the American Chemical Society*. 2015; 137(6): 2140–2154. <https://doi.org/10.1021/ja510147n>

26. Sheshala R., Madheswaran T., Panneerselvam J., Vora L., Thakur R.R.S. Stimuli-responsive nanomaterials in infectious diseases. Jain K., Ahmad J. (eds.). *Nanotheranostics for Treatment and Diagnosis of Infectious Diseases*. Academic Press. 2022; 151–198. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91201-3.00005-0>
27. Chen W., Tian X., He W., Li J., Feng Y., Pan G. Emerging functional materials based on chemically designed molecular recognition. *BMC Materials*. 2020; 2: 1. <https://doi.org/10.1186/s42833-019-0007-1>
28. El Jundi A., Buwalda S.J., Bakkour Y., Garric X., Nottelet B. Double hydrophilic block copolymers self-assemblies in biomedical applications. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2020; 283: 102213. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102213>
29. González-Jartín J.M. et al. Magnetic nanostructures for marine and freshwater toxins removal. *Chemosphere*. 2020; 256: 127019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127019>
30. Wieszczycka K., Staszak K., Woźniak-Budych M.J., Litowczenko J., Maciejewska B.M., Jurga S. Surface functionalization — The way for advanced applications of smart materials. *Coordination Chemistry Reviews*. 2021; 436: 213846. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213846>
31. Manikkath J. et al. Nanoparticle-Mediated Active and Passive Drug Targeting in Oral Squamous Cell Carcinoma: Current Trends and Advances. *Nanomedicine*. 2023; 18(27): 2061–2080. <https://doi.org/10.2217/nmm-2023-0247>
32. Deci M.B., Liu M., Dinh Q.T., Nguyen J. Precision engineering of targeted nanocarriers. *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*. 2018; 10(5): e1511. <https://doi.org/10.1002/wnan.1511>
33. Bazban-Shotorbani S. et al. Revisiting structure-property relationship of pH-responsive polymers for drug delivery applications. *Journal of Controlled Release*. 2017; 253: 46–63. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.02.021>
34. Mu Q. et al. Chemical Basis of Interactions Between Engineered Nanoparticles and Biological Systems. *Chemical Reviews*. 2014; 114(15): 7740–7781. <https://doi.org/10.1021/cr400295a>
35. Lunardi C.N., Gomes A.J., Rocha F.S., De Tommaso J., Patience G.S. Experimental methods in chemical engineering: Zeta potential. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2021; 99(3): 627–639. <https://doi.org/10.1002/cjce.23914>
36. Stoffelen C., Huskens J. Soft Supramolecular Nanoparticles by Noncovalent and Host–Guest Interactions. *Small*. 2016; 12(1): 96–119. <https://doi.org/10.1002/sml.201501348>
37. Vascon F. et al. Protein electrostatics: From computational and structural analysis to discovery of functional fingerprints and biotechnological design. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2020; 18: 1774–1789. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.06.029>
38. Wen H., Jung H., Li X. Drug Delivery Approaches in Addressing Clinical Pharmacology-Related Issues: Opportunities and Challenges. *The AAPS Journal*. 2015; 17(6): 1327–1340. <https://doi.org/10.1208/s12248-015-9814-9>
39. Lu L.L., Suscovich T.J., Fortune S.M., Alter G. Beyond binding: antibody effector functions in infectious diseases. *Nature Reviews Immunology*. 2018; 18: 46–61. <https://doi.org/10.1038/nri.2017.106>
40. Zumbro E., Alexander-Katz A. Influence of Binding Site Affinity Patterns on Binding of Multivalent Polymers. *ACS Omega*. 2020; 5(19): 10774–10781. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00334>
41. Erlendsson S., Teilum K. Binding Revisited—Avidity in Cellular Function and Signaling. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2020; 7: 615565. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2020.615565>
42. Gupta V.K., Agarwal S., Ahmad R., Mirza A., Mittal J. Sequestration of toxic congo red dye from aqueous solution using ecofriendly guar gum/activated carbon nanocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020; 158: 1310–1318. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.025>
43. Fang R.H., Luk B.T., Hu C.-M.J., Zhang L. Engineered nanoparticles mimicking cell membranes for toxin neutralization. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2015; 90: 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2015.04.001>
44. Fierer J., Looney D., Kok M., Pechère J.-C. Nature and pathogenicity of micro-organisms. Cohen J., Opal S.M., Powderly W.G. (eds.). *Infectious Diseases*. Third Edition. Mosby. 2010; 1: 3–29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-04579-7.00001-0>
26. Sheshala R., Madheswaran T., Panneerselvam J., Vora L., Thakur R.R.S. Stimuli-responsive nanomaterials in infectious diseases. Jain K., Ahmad J. (eds.). *Nanotheranostics for Treatment and Diagnosis of Infectious Diseases*. Academic Press. 2022; 151–198. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91201-3.00005-0>
27. Chen W., Tian X., He W., Li J., Feng Y., Pan G. Emerging functional materials based on chemically designed molecular recognition. *BMC Materials*. 2020; 2: 1. <https://doi.org/10.1186/s42833-019-0007-1>
28. El Jundi A., Buwalda S.J., Bakkour Y., Garric X., Nottelet B. Double hydrophilic block copolymers self-assemblies in biomedical applications. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2020; 283: 102213. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102213>
29. González-Jartín J.M. et al. Magnetic nanostructures for marine and freshwater toxins removal. *Chemosphere*. 2020; 256: 127019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127019>
30. Wieszczycka K., Staszak K., Woźniak-Budych M.J., Litowczenko J., Maciejewska B.M., Jurga S. Surface functionalization — The way for advanced applications of smart materials. *Coordination Chemistry Reviews*. 2021; 436: 213846. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213846>
31. Manikkath J. et al. Nanoparticle-Mediated Active and Passive Drug Targeting in Oral Squamous Cell Carcinoma: Current Trends and Advances. *Nanomedicine*. 2023; 18(27): 2061–2080. <https://doi.org/10.2217/nmm-2023-0247>
32. Deci M.B., Liu M., Dinh Q.T., Nguyen J. Precision engineering of targeted nanocarriers. *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*. 2018; 10(5): e1511. <https://doi.org/10.1002/wnan.1511>
33. Bazban-Shotorbani S. et al. Revisiting structure-property relationship of pH-responsive polymers for drug delivery applications. *Journal of Controlled Release*. 2017; 253: 46–63. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.02.021>
34. Mu Q. et al. Chemical Basis of Interactions Between Engineered Nanoparticles and Biological Systems. *Chemical Reviews*. 2014; 114(15): 7740–7781. <https://doi.org/10.1021/cr400295a>
35. Lunardi C.N., Gomes A.J., Rocha F.S., De Tommaso J., Patience G.S. Experimental methods in chemical engineering: Zeta potential. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2021; 99(3): 627–639. <https://doi.org/10.1002/cjce.23914>
36. Stoffelen C., Huskens J. Soft Supramolecular Nanoparticles by Noncovalent and Host–Guest Interactions. *Small*. 2016; 12(1): 96–119. <https://doi.org/10.1002/sml.201501348>
37. Vascon F. et al. Protein electrostatics: From computational and structural analysis to discovery of functional fingerprints and biotechnological design. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2020; 18: 1774–1789. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.06.029>
38. Wen H., Jung H., Li X. Drug Delivery Approaches in Addressing Clinical Pharmacology-Related Issues: Opportunities and Challenges. *The AAPS Journal*. 2015; 17(6): 1327–1340. <https://doi.org/10.1208/s12248-015-9814-9>
39. Lu L.L., Suscovich T.J., Fortune S.M., Alter G. Beyond binding: antibody effector functions in infectious diseases. *Nature Reviews Immunology*. 2018; 18: 46–61. <https://doi.org/10.1038/nri.2017.106>
40. Zumbro E., Alexander-Katz A. Influence of Binding Site Affinity Patterns on Binding of Multivalent Polymers. *ACS Omega*. 2020; 5(19): 10774–10781. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00334>
41. Erlendsson S., Teilum K. Binding Revisited—Avidity in Cellular Function and Signaling. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2020; 7: 615565. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2020.615565>
42. Gupta V.K., Agarwal S., Ahmad R., Mirza A., Mittal J. Sequestration of toxic congo red dye from aqueous solution using ecofriendly guar gum/activated carbon nanocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020; 158: 1310–1318. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.025>
43. Fang R.H., Luk B.T., Hu C.-M.J., Zhang L. Engineered nanoparticles mimicking cell membranes for toxin neutralization. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2015; 90: 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2015.04.001>
44. Fierer J., Looney D., Kok M., Pechère J.-C. Nature and pathogenicity of micro-organisms. Cohen J., Opal S.M., Powderly W.G. (eds.). *Infectious Diseases*. Third Edition. Mosby. 2010; 1: 3–29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-04579-7.00001-0>

45. Manayani D.J. *et al.* A Viral Nanoparticle with Dual Function as an Anthrax Antitoxin and Vaccine. *PLOS Pathogens*. 2007; 3(10): e142. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030142>
46. Kulkarni A.A., Fuller C., Korman H., Weiss A.A., Iyer S.S. Glycan Encapsulated Gold Nanoparticles Selectively Inhibit Shiga Toxins 1 and 2. *Bioconjugate Chemistry*. 2010; 21(8): 1486–1493. <https://doi.org/10.1021/bc100095w>
47. Sarwar S, Ali A., Pal M., Chakrabarti P. Zinc oxide nanoparticles provide anti-cholera activity by disrupting the interaction of cholera toxin with the human GM1 receptor. *The Journal of Biological Chemistry*. 2017; 292(44): 18303–18311. <https://doi.org/10.1074/jbc.m117.793240>
48. Filippova O., Kiyko E., Zazulya A., Maslova N. Enterosorbent for farm animals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 403: 012142. <https://doi.org/10.3390/medicina55090557>
49. Sarnatskaya V. *et al.* The effect of two formulations of carbon enterosorbents on oxidative stress indexes and molecular conformation of serum albumin in experimental animals exposed to CCl₄. *Heliyon*. 2020; 6(1): e03126. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03126>
50. Тишин А.Н., Покровский М.В., Тишина О.М., Якушев В.И., Заболотских Н.В. Экспериментальное изучение противодиарейной активности монтмориллонит-содержащего энтеросорбента. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2017; (5): 82–89. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2017-24-5-82-89>
51. Wang M., Safe S., Hearon S.E., Phillips T.D. Strong adsorption of Polychlorinated Biphenyls by processed montmorillonite clays: Potential applications as toxin enterosorbents during disasters and floods. *Environmental Pollution*. 2019; 255(1): 113210. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113210>
52. Zuev N. *et al.* Enterosorbent based on montmorillonite as a promising tool in the treatment and prevention of intestinal disorders in pigs. *BIO Web of Conferences*. 2021; 30: 02012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213002012>
53. Кузнецова С.А. и др. Энтеросорбенты из коры пихты и их лечебно-профилактические свойства при экспериментальном эшерихиозе животных. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия*. 2020; 13(1): 122–132. <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0158>
54. Fatullayeva S., Tagiyev D., Zeynalov N. A review on enterosorbents and their application in clinical practice: Removal of toxic metals. *Colloid and Interface Science Communications*. 2021; 45: 100545. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2021.100545>
55. Howell C.A., Mikhlovsky S.V., Markaryan E.N., Khovanov A.V. Investigation of the adsorption capacity of the enterosorbent Enterosgel for a range of bacterial toxins, bile acids and pharmaceutical drugs. *Scientific Reports*. 2019; 9: 5629. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42176-z>
56. Kluczka J. Chitosan: Structural and Chemical Modification, Properties, and Application. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(1): 554. <https://doi.org/10.3390/ijms25010554>
57. Shichkin V.P., Kurchenko O.V., Okhotnikova E.N., Chopyak V.V., Delfino D.V. Enterosorbents in complex therapy of food allergies: a focus on digestive disorders and systemic toxicity in children. *Frontiers in Immunology*. 2023; 14: 1210481. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1210481>
58. Brovko O. *et al.* Composite aerogel materials based on lignosulfonates and silica: Synthesis, structure, properties. *Materials Chemistry and Physics*. 2021; 269: 124768. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124768>
59. Новокшонов А.А., Соколова Н.В. Метод энтеросорбции и его клиническая эффективность в комплексной терапии ОКИ у детей. *Вопросы современной педиатрии*. 2011; 10(1): 140–147. EDN NEJYTP
60. Циков А.В. Опыт применения энтеросорбции в комплексном лечении пациентов с бронхиальной астмой. *Врачебное дело*. 1986; (7): 35–37. EDN ROWTUX
61. Кормишина А.Е., Мизина П.Г., Соловьева И.Л. Кормишина А.Е. Фармацевтический рынок лекарственных средств адсорбционного действия: состояние и перспективы. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2018; 13(6): 55–62. EDN YXTXPV
62. Николаев В.Г., Михаловский С.В., Гурина Н.М. Современные энтеросорбенты и механизмы их действия. *Эфферентная терапия*. 2005; 11(4): 3–17. EDN WETVRL
63. Жилыкова Е.Т., Бондарев А.В., Новиков О.О. Рациональный выбор энтеросорбента на основе его сорбционно-морфологических характеристик. *Медицинский оппонент*. 2023;(3):59-64. EDN PZXAFS
45. Manayani D.J. *et al.* A Viral Nanoparticle with Dual Function as an Anthrax Antitoxin and Vaccine. *PLOS Pathogens*. 2007; 3(10): e142. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030142>
46. Kulkarni A.A., Fuller C., Korman H., Weiss A.A., Iyer S.S. Glycan Encapsulated Gold Nanoparticles Selectively Inhibit Shiga Toxins 1 and 2. *Bioconjugate Chemistry*. 2010; 21(8): 1486–1493. <https://doi.org/10.1021/bc100095w>
47. Sarwar S, Ali A., Pal M., Chakrabarti P. Zinc oxide nanoparticles provide anti-cholera activity by disrupting the interaction of cholera toxin with the human GM1 receptor. *The Journal of Biological Chemistry*. 2017; 292(44): 18303–18311. <https://doi.org/10.1074/jbc.m117.793240>
48. Filippova O., Kiyko E., Zazulya A., Maslova N. Enterosorbent for farm animals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 403: 012142. <https://doi.org/10.3390/medicina55090557>
49. Sarnatskaya V. *et al.* The effect of two formulations of carbon enterosorbents on oxidative stress indexes and molecular conformation of serum albumin in experimental animals exposed to CCl₄. *Heliyon*. 2020; 6(1): e03126. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03126>
50. Tishin A.N., Pokrovskii M.V., Tishina O.M., Yakushev V.I., Zabolotskih N.V. Experimental study of the antidiarrhoeal activity of montmorillonite-containing enterosorbent. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2017; (5): 82–89 (in Russian). <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2017-24-5-82-89>
51. Wang M., Safe S., Hearon S.E., Phillips T.D. Strong adsorption of Polychlorinated Biphenyls by processed montmorillonite clays: Potential applications as toxin enterosorbents during disasters and floods. *Environmental Pollution*. 2019; 255(1): 113210. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113210>
52. Zuev N. *et al.* Enterosorbent based on montmorillonite as a promising tool in the treatment and prevention of intestinal disorders in pigs. *BIO Web of Conferences*. 2021; 30: 02012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213002012>
53. Kuznetsova S.A. *et al.* Enterosorbents from Abies Bark and their Therapeutic and Preventive Properties in Experimental Escherichiosis of Animals. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2020; 13(1): 122–132 (in Russian). <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0158>
54. Fatullayeva S., Tagiyev D., Zeynalov N. A review on enterosorbents and their application in clinical practice: Removal of toxic metals. *Colloid and Interface Science Communications*. 2021; 45: 100545. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2021.100545>
55. Howell C.A., Mikhlovsky S.V., Markaryan E.N., Khovanov A.V. Investigation of the adsorption capacity of the enterosorbent Enterosgel for a range of bacterial toxins, bile acids and pharmaceutical drugs. *Scientific Reports*. 2019; 9: 5629. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42176-z>
56. Kluczka J. Chitosan: Structural and Chemical Modification, Properties, and Application. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(1): 554. <https://doi.org/10.3390/ijms25010554>
57. Shichkin V.P., Kurchenko O.V., Okhotnikova E.N., Chopyak V.V., Delfino D.V. Enterosorbents in complex therapy of food allergies: a focus on digestive disorders and systemic toxicity in children. *Frontiers in Immunology*. 2023; 14: 1210481. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1210481>
58. Brovko O. *et al.* Composite aerogel materials based on lignosulfonates and silica: Synthesis, structure, properties. *Materials Chemistry and Physics*. 2021; 269: 124768. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124768>
59. Novokshonov A.A., Sokolova N.V. Enterosorption and its clinical effectiveness in complex treatment of acute intestinal infections in children. *Current Pediatrics (Moscow)*. 2011; 10(1): 140–147 (in Russian). EDN NEJYTP
60. Tsikov A.V. Experience with enterosorption in the complex treatment of bronchial asthma. *Vrachebnoye delo*. 1986; (7): 35–37 (in Russian). EDN ROWTUX
61. Kormishina A.E., Mizina P.G., Solov'eva I.L. Pharmaceutical market of medicines of adsorptive action: state and prospects. *Bashkortostan Medical Journal*. 2018; 13(6): 55–62 (in Russian). EDN YXTXPV
62. Nikolayev V.G., Mikhlovsky S.V., Gurina N.M. Modern enterosorbents and mechanisms of their action. *Efferentnaya terapiya*. 2005; 11(4): 3–17 (in Russian). EDN WETVRL
63. Zhilyakova E.T., Bondarev A.V., Novikov O.O. Rational choice of enterosorbent based on its sorption-morphological characteristics. *Meditinskiy opponet*. 2023;(3):59-64. EDN PZXAFS

64. Kucher S.V., Lototska O.V. Inclusion of enterosorbents in anti-inflammatory therapy improve treatment effectiveness in COPD patients during exacerbations. *The Ukrainian Biochemical Journal*. 2021; 93(2): 107–114.
<https://doi.org/10.15407/ubj93.02.107>

65. Naghshbandi M.P., Moghimi H. Stabilization of phytase on multi-walled carbon nanotubes via covalent immobilization. *Methods in Enzymology*. 2020; 630: 431–451.
<https://doi.org/10.1016/bs.mie.2019.10.013>

66. Jenie S.N.A., Plush S.E., Voelcker N.H. Recent Advances on Luminescent Enhancement-Based Porous Silicon Biosensors. *Pharmaceutical Research*. 2016; 33(10): 2314–2336.
<https://doi.org/10.1007/s11095-016-1889-1>

67. Rokicka-Konieczna P., Wanag A., Sienkiewicz A., Kusiak-Nejman E., Morawski A.W. Antibacterial effect of TiO₂ nanoparticles modified with APTES. *Catalysis Communications*. 2020; 134: 105862.
<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2019.105862>

68. Aissaoui N., Bergaoui L., Landoulsi J., Lambert J.-F., Boujday S. Silane Layers on Silicon Surfaces: Mechanism of Interaction, Stability, and Influence on Protein Adsorption. *Langmuir*. 2012; 28(1): 656–665.
<https://doi.org/10.1021/la2036778>

69. Chitra K., Annadurai G. Fluorescent Silica Nanoparticles in the Detection and Control of the Growth of Pathogen. *Journal of Nanotechnology*. 2013; 2013: 509628.
<https://doi.org/10.1155/2013/509628>

70. Lapin N.A., Chabal Y.J. Infrared Characterization of Biotinylated Silicon Oxide Surfaces, Surface Stability, and Specific Attachment of Streptavidin. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2009; 113(25): 8776–8783.
<https://doi.org/10.1021/jp809096m>

71. Pasternack R.M., Rivillon Amy S., Chabal Y.J. Attachment of 3-(Aminopropyl)triethoxysilane on Silicon Oxide Surfaces: Dependence on Solution Temperature. *Langmuir*. 2008; 24(22): 12963–12971.
<https://doi.org/10.1021/la8024827>

ОБ АВТОРАХ

Зарина Хамзатовна Межиева

кандидат ветеринарных наук, главный специалист
zarina@vgnki.ru

Антон Валерьевич Моторыгин

кандидат ветеринарных наук, заведующий научно-технологической лабораторией
avmotorygin@vgnki.ru

Надежда Сергеевна Абросимова

старший научный сотрудник
n.abrosimova@vgnki.ru

Александр Николаевич Панин

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

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

64. Kucher S.V., Lototska O.V. Inclusion of enterosorbents in anti-inflammatory therapy improve treatment effectiveness in COPD patients during exacerbations. *The Ukrainian Biochemical Journal*. 2021; 93(2): 107–114.
<https://doi.org/10.15407/ubj93.02.107>

65. Naghshbandi M.P., Moghimi H. Stabilization of phytase on multi-walled carbon nanotubes via covalent immobilization. *Methods in Enzymology*. 2020; 630: 431–451.
<https://doi.org/10.1016/bs.mie.2019.10.013>

66. Jenie S.N.A., Plush S.E., Voelcker N.H. Recent Advances on Luminescent Enhancement-Based Porous Silicon Biosensors. *Pharmaceutical Research*. 2016; 33(10): 2314–2336.
<https://doi.org/10.1007/s11095-016-1889-1>

67. Rokicka-Konieczna P., Wanag A., Sienkiewicz A., Kusiak-Nejman E., Morawski A.W. Antibacterial effect of TiO₂ nanoparticles modified with APTES. *Catalysis Communications*. 2020; 134: 105862.
<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2019.105862>

68. Aissaoui N., Bergaoui L., Landoulsi J., Lambert J.-F., Boujday S. Silane Layers on Silicon Surfaces: Mechanism of Interaction, Stability, and Influence on Protein Adsorption. *Langmuir*. 2012; 28(1): 656–665.
<https://doi.org/10.1021/la2036778>

69. Chitra K., Annadurai G. Fluorescent Silica Nanoparticles in the Detection and Control of the Growth of Pathogen. *Journal of Nanotechnology*. 2013; 2013: 509628.
<https://doi.org/10.1155/2013/509628>

70. Lapin N.A., Chabal Y.J. Infrared Characterization of Biotinylated Silicon Oxide Surfaces, Surface Stability, and Specific Attachment of Streptavidin. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2009; 113(25): 8776–8783.
<https://doi.org/10.1021/jp809096m>

71. Pasternack R.M., Rivillon Amy S., Chabal Y.J. Attachment of 3-(Aminopropyl)triethoxysilane on Silicon Oxide Surfaces: Dependence on Solution Temperature. *Langmuir*. 2008; 24(22): 12963–12971.
<https://doi.org/10.1021/la8024827>

ABOUT THE AUTHORS

Zarina Khamzatovna Mezheeva

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

Anton Valerievich Motorygin

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the scientific and technological laboratory
avmotorygin@vgnki.ru

Nadezhda Sergeevna Abrosimova

Senior researcher
n.abrosimova@vgnki.ru

Alexander Nikolaevich Panin

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician
of the Russian Academy of Sciences
alexanderpanin5083@gmail.com

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

УДК 577.121:612.822:612.17:616-001.8.

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-79-86

Е.В. Макарова-Горбачева¹О.Н. Павлова² ✉О.Н. Гуленко²Е.В. Лукенюк³Г.Б. Балиев²А.Д. Сысоева²А.Б. Зурначян²А.С. Светкина²

¹Частное учреждение образовательная организация высшего образования «Медицинский университет «Реавиз», Самара, Россия

²Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара, Россия

³Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

✉ casiopeya13@mail.ru

Поступила в редакцию: 12.03.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Макарова-Горбачева Е.В., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Лукенюк Е.В., Балиев Г.Б., Сысоева А.Д., Зурначян А.Б., Светкина А.С.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-79-86

Ekaterina V. Makarova-Gorbacheva¹Olga N. Pavlova² ✉Olga N. Gulenko²Elena V. Lukenyuk³Gairat B. Baliev²Anastasia D. Sysoeva²Ani B. Zurnachyan²Anastasia S. Svetkina²

¹Medical University «Reaviz», Samara, Russia

²Samara State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russia

³Volga Region State University of Railway Transport, Samara, Russia

✉ casiopeya13@mail.ru

Received by the editorial office: 12.03.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Makarova-Gorbacheva E.V., Pavlova O.N., Gulenko O.N., Lukenyuk E.V., Baliev G.B., Sysoeva A.D., Zurnachyan A.B., Svetkina A.S.

Исследование динамики экспрессии генов антиоксидантных ферментов в тканях мозга и сердца крыс после воздействия острой нормобарической гипоксии

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Перинатальная гипоксия — состояние, характеризующееся дефицитом кислорода в организме плода или новорожденного. Актуальность проблемы пренатальной гипоксии и ее долгосрочных эффектов связана с механизмами возникновения множества патологических состояний, в которых важную роль играет окислительный стресс. **Цель** — изучить динамику экспрессии м-РНК генов антиоксидантных ферментов в тканях мозга и сердца крыс после воздействия острой нормобарической гипоксии для выявления общих патофизиологических механизмов повреждения органов при неонатальной гипоксии, актуальных для ветеринарной неонатологии и сравнительной патологии.

Методы. Работа проводилась на крысах обоего пола линии Wistar (20 половозрелых самок и 10 половозрелых самцов, которые поровну по принципу рандомизации были разделены на 2 группы и от них было получено потомство). 1 группа — контроль, а животным 2 группы моделировали состояние недоношенной беременности человека: воздействие острой нормобарической гипоксии на крысят на вторые постнатальные сутки и впоследствии оценивали экспрессию мРНК генов Sod1, Cat, GPX1 и GSR в тканях мозга и сердца методом ПЦР-РВ.

Результаты. Установлено увеличение экспрессии мРНК генов Sod1, Cat и GSR в тканях мозга и сердца самцов и самок крыс сразу после воздействия ОНГ, а затем, через 1 сутки, 7 и 14 суток после воздействия ОНГ установлено снижение экспрессии генов, а в отношении мРНК гена GPX1 наблюдалась обратная динамика. Такая динамика отражает смену острой реакции на гипоксию (стадия тревоги) фазой долговременной адаптации.

Ключевые слова: крысы, мозг, сердце, Sod1, Cat, GPX1, GSR

Для цитирования: Макарова-Горбачева Е.В., и др. Исследование динамики экспрессии генов антиоксидантных ферментов в тканях мозга и сердца крыс после воздействия острой нормобарической гипоксии. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 79–86. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-79-86>

Study of the dynamics of gene expression of antioxidant enzymes in the brain and heart tissues of rats after exposure to acute normobaric hypoxia

ABSTRACT

Relevance. Perinatal hypoxia is a condition characterized by oxygen deficiency in the body of the fetus or newborn. The relevance of prenatal hypoxia and its long-term effects is associated with the mechanisms underlying numerous pathological conditions in which oxidative stress plays a significant role. The aim of this study was to investigate the dynamics of mRNA expression of antioxidant enzyme genes in rat brain and heart tissue after exposure to acute normobaric hypoxia to identify common pathophysiological mechanisms of organ damage during neonatal hypoxia, which are relevant for veterinary neonatology and comparative pathology.

Methods. The study was conducted on Wistar rats of both sexes (20 mature females and 10 mature males, which were equally divided into two groups by randomization, and from which offspring were obtained). Group 1 was a control group, while animals in Group 2 simulated the state of human preterm pregnancy: rat pups were exposed to acute normobaric hypoxia on the second postnatal day.

Results. Subsequently, the expression of Sod1, Cat, GPX1, and GSR mRNA in brain and heart tissue was assessed using real-time PCR. An increase in Sod1, Cat, and GSR mRNA expression was observed in the brain and heart tissue of male and female rats immediately after exposure to ANH. Subsequently, a decrease in gene expression was observed 1, 7, and 14 days after exposure to ANH, while the opposite trend was observed for GPX1 mRNA. This trend reflects the transition from the acute response to hypoxia (the alarm stage) to a long-term adaptation phase.

Key words: rats, heart, Sod1, Cat, GPX1, GSR

For citation: Makarova-Gorbacheva E.V., et al. Study of the dynamics of expression of antioxidant enzyme genes in rat brain and heart tissues after exposure to acute normobaric hypoxia. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 79–86 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-79-86>

Введение/Introduction

Перинатальная гипоксия (ПГ) — это состояние, характеризующееся дефицитом кислорода в организме плода или новорожденного, которое может возникать на разных этапах: во время беременности, родов или в первые минуты и часы после рождения [1,2].

Актуальность изучения патогенеза ПГ у сельскохозяйственных животных продиктована тем, что кислородное голодание в критические периоды развития зародыша запускает каскад необратимых изменений, которые определяют биологическую и экономическую ценность особи на всю жизнь [3,4,5].

Считается, что ПГ — это стресс-фактор, вызывающий «фетальное программирование», которое физиологически проявляется изменением чувствительности рецепторов и гормонального фона. Животные, пережившие ПГ, во взрослом состоянии демонстрируют низкую конверсию корма и нарушение обмена веществ, что делает их содержание менее рентабельным. Также на фоне перенесенной ПГ в тканях мозга развивается эксайтотоксичность, патологический процесс, при котором нейроны повреждаются и погибают из-за чрезмерной активации рецепторов (NMDA- и AMPA-) возбуждающими нейромедиаторами, в основном глутаматом. Это приводит к избыточному притоку кальция в клетку, вызывая ее токсическое разрушение. Для животноводства это критично, так как у животных это ведет к угнетению сосательного рефлекса, что является первопричиной ранней смертности, также ведет к нарушению поведенческих адаптаций и снижению стрессоустойчивости стада [5,6,7,8].

Исследование механизмов ПГ и возможности влияния на них крайне важно для ветеринарной иммунологии. Установлено, что кислородное голодание угнетает развитие лимфоидных органов и поэтому у молодых животных формируется низкий колостральный иммунитет, они гибнут от вторичных инфекций даже при соблюдении санитарных норм содержания [6,7,8].

На молекулярном уровне ПГ интенсифицирует процессы перекисного окисления липидов в тканях, что нарушает окислительный гомеостаз организма и формирует состояние оксидативного стресса, которое характеризуется дисбалансом между антиоксидантными и прооксидантными системами. Установлено, что в крови недоношенных новорожденных, перенесших ПГ, определяется высокая концентрация свободных радикалов и продуктов окисления и низкая активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза и др.) и низкомолекулярных антиоксидантов [9,10,11].

Дело в том, что при ПГ в организме изменяется функционирование митохондрий, замедляется транспорт электронов в дыхательной цепи, что приводит к их «утечке» и избыточному образованию активных форм кислорода (АФК),

которые выступают не только как разрушители, но и как вторичные мессенджеры, активизируя транскрипционные факторы, прежде всего Nrf2 (Nuclear factor erythroid 2-related factor 2) и HIF-1 α (Hypoxia-inducible factor). Когда концентрация АФК достигает критической точки, фактор Nrf2 перемещается в ядро клетки, связывается с элементом ARE (Antioxidant Response Element) в промоторах генов и запускает синтез мРНК ключевых антиоксидантных ферментов (каталазы, супероксиддисмутазы (СОД), глутатионпероксидазы (ГП) и глутатионредуктазы (ГР) [9,12,13].

Супероксиддисмутаза — антиоксидантный фермент, кодируемый геном Sod1, участвует в системе детоксикации супероксидных радикалов [14,15].

Каталаза — фермент с очень высокой каталитической активностью, кодируемый геном Cat, отвечает за предотвращение образования гидроксил-радикала, а также регулирует работу сигнальных путей, отвечающие за апоптоз [14,16].

Глутатионпероксидаза 1 — белок, кодируемый геном GPX1, является одним из наиболее важных антиоксидантных ферментов в организме человека, катализируя реакцию восстановления перекиси водорода и органических гидропероксидов до соответствующих спиртов с использованием глутатиона [17].

Глутатионредуктаза — это фермент, кодируемый геном GSR, играет важную роль в антиоксидантной защите клеток, восстанавливая окисленную форму глутатиона (GSSG) до восстановленной (GSH), что необходимо для функционирования других антиоксидантных ферментов и защиты клеток от окислительного стресса [18].

Оксидативный стресс служит триггером для экспрессии генов антиоксидантных ферментов, которые пытаются восстановить окислительный гомеостаз. Однако успех этой адаптации зависит от «физиологического резерва» конкретной ткани и тяжести гипоксического воздействия. В целом мозг наиболее чувствителен к нехватке кислорода, так как потребляет его в огромных количествах, а сердце обладает определенным запасом прочности, но гипоксия истощает его ресурсы. ПГ вызывает сложные и многообразные изменения в морфологии этих органов с серьезными последствиями для дальнейшего развития, что подчеркивает важность их раннего выявления и интервенции для поддержки новорожденных, перенесших ПГ. Понимание патогенеза и механизма повреждений, вызванных гипоксией, может способствовать разработке эффективных стратегий лечения и реабилитации таких животных. Изучение этих механизмов позволит разработать антиоксидантную терапию для супоросных/стельных маток, что является превентивной мерой по сохранению поголовья.

Таким образом, *цель* — изучить динамику экспрессии м-РНК генов антиоксидантных ферментов в тканях мозга и сердца крыс после

воздействия острой нормобарической гипоксии для выявления общих патофизиологических механизмов повреждения органов при неонатальной гипоксии, актуальных для ветеринарной неонатологии и сравнительной патологии.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент выполнен в виварии кафедры медико-биологических дисциплин Саратовского медицинского университета «Реавиз» в сентябре-октябре 2025 г. На проведение исследования получено заключение Этического комитета при Саратовском медицинском университете «Реавиз» № 105/7 от 16 сентября 2024 г.

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

От 20 половозрелых самок и 10 половозрелых самцов крыс линии Wistar (разделенных поровну на 2 группы) было получено потомство. У них после воздействия острой нормобарической гипоксии (ОНГ) исследовали экспрессию мРНК генов Sod1, Cat, GPX1 и GSR в тканях мозга и сердца. В 1 группе от взрослых крыс было получено 134 крысенка (63 самца и 71 самка), а во 2 группе — 126 крысят (59 самцов и 67 самок). 1 группа крысят — это контроль, который на второй день жизни находился в инкубаторе при 37 °С в течение 2-х часов, при атмосферном содержании кислорода в воздухе (21,0 %), а 2 группа — экспериментальная, подвергалась действию ОНГ в течение 2-х часов.

Исследование выполнено на модели недоношенной беременности человека: воздействие ОНГ на крысят 2 группы на вторые постнатальные сутки. Гипоксические и контрольные условия были воссозданы в инкубаторе New Brunswick Scientific «Innova CO-48 CO2» (США). Параметры гипоксии (8% O₂, 92% N₂, 37 °С, 2 ч) были подобраны экспериментально и основаны на литературных данных [18]. В связи с незрелостью новорожденных крысят воздействие ОНГ на 2-е сутки их жизни моделирует состояние, сходное с церебральной патологией недоношенного плода человека [19].

В первой группе крыс методом рандомизации было отобрано 10 крысят, а во второй группе — 40 крысят, у которых исследовали экспрессию мРНК генов антиоксидантных ферментов. В первой группе исследование проводили 1 раз, а во второй — сразу после действия ОНГ, а также на 1, 7 и 14 сутки после действия ОНГ, исследовали экспрессию мРНК генов Sod1, Cat, GPX1 и GSR в тканях мозга и сердца после декапитации

методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ).

Выделение РНК генов из образцов тканей проводилось в системе тризол/хлороформ. Концентрацию РНК определяли при длине волны 260 нм на спектрофотометре DS-11 (DeNovix, США).

Далее проводили обратную транскрипцию. В пробирке, помещенной в лед, смешивали 2 мкл тотальной РНК и 2 мкл 20 мкМ гомополимерного праймера. Объем доводили свободной от РНКаз водой и смесь инкубировали 2 мин при 70 °С. Затем пробирку переносили в лед, после чего добавляли 4 мкл 5-х ОТ буфера, 2 мкл 10 мМ смеси dNTP, 2 мкл 20 мМ DTT, 1 мкл обратной транскриптазы MMLV (50 ед./мкл) (все реактивы — «Евроген», Россия). Смесь инкубировали в течение 40 минут при 40 °С и останавливали реакцию прогреванием в течение 10 мин при 70 °С.

Последующая полимеразная цепная реакция в реальном времени проводилась в пробирке, свободной от РНКаз, в которой смешивали следующие компоненты: 100 нг кДНК матрицы, по 0,4 мкл прямого и обратного праймера (100 пмоль), 2 мкл «5xqPCRmixHS SYBR». Объем реакционной смеси доводили до 10 мкл водой, свободной от РНКаз. После перемешивания добавляли к смеси минеральное масло для предотвращения испарения. Пробирку помещали в детектирующий амплификатор DTprime ДТ96 (ДНКтехнологии, Россия). Полученные образцы проверяли с помощью электрофореза в агарозном геле. Данные обрабатывали с помощью программы QGENE (2-ΔCt метод). Все последовательности праймеров были сгенерированы и проверены на специфичность продукта с помощью онлайн-сервиса NCBI «Primer-BLAST»¹ (таблица 1). Нормировка экспрессии каждого гена проводилась на ген «домашнего хозяйства» рибосомального белка L30 (RPL30).

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

Таблица 1. Последовательность праймеров, использованных в ПЦР-РВ

Table 1. Sequence of primers used in RT-PCR

Ген	Последовательность смыслового и антисмыслового праймеров
RLP30	5'-AAAGCGAAATTGGTTATCCTC-3' 5'-TGATGGACACCAGTTTATAGCC-3'
Sod1	5'-CCAGCGGATGAAGAGAGG-3' 5'-GGACACATTGGCCACACC-3'
Cat	5'-CAGCGACCAGATGAAGCA-3' 5'-GGTCAGGACATCGGGTTTC-3'
GPX1	5'-TTTCCCGTGCAATCAGTTC-3' 5'-GGACATACTTGAGGGAATTCAGA-3'
GSR	5'-TTCCTCATGAGAACCAGATCC-3' 5'-CTGAAAGAACCCATCACTGGT-3'

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

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

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты исследования экспрессии мРНК генов антиоксидантных ферментов в тканях крыс 1 группы представлены в таблице 2.

Результаты исследования динамики экспрессии м-РНК генов антиоксидантных ферментов в тканях мозга и сердца крыс после воздействия острой нормобарической гипоксии представлены на рисунках 1 и 2.

Анализ экспрессии мРНК гена Sod1 показал, что в тканях мозга самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ она существенно повысилась, и в динамике 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено плавное снижение экспрессии мРНК гена Sod1 у животных обоего пола: у самцов на 1 сутки после ОНГ экспрессия гена снизилась на 4,1%, на 7 суток — на 12,5% ($p = 0,001$), а на 14 суток — на 19,9% ($p = 0,041$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ; а у самок на 1 сутки снизилась незначительно, на 7 суток — на 5,6%, а на 14 суток — на 12,0% ($p = 0,001$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ.

Анализ экспрессии мРНК гена Cat показал, что в тканях мозга самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ она существенно повысилась, и в динамике 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено плавное снижение экспрессии мРНК гена Cat у животных обоего пола: у самцов на 1 сутки после ОНГ экспрессия гена снизилась на 7,5%, на 7 суток — на 17,5% ($p = 0,018$), а на 14 суток — на 25,5% ($p = 0,003$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ; а у самок на 1 сутки снизилась незначительно, на 7 суток — на 10,1% ($p = 0,044$), а на 14 суток — на 18,0% ($p = 0,001$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ.

Экспрессия мРНК гена GPX1 в тканях мозга самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ существенно снизилась, и в динамике 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено повышение экспрессии мРНК гена GPX1 в тканях мозга самцов: на 1 сутки — на 3,3%, на 7 суток — на 6,5%, на 14 суток — на 8,3% ($p = 0,002$) от значения сразу после действия гипоксии, а у самок на 1 сутки после действия гипоксии установлено повышение экспрессии мРНК гена GPX1 в тканях мозга на 4,1% от значения сразу после действия гипоксии, на 7 суток — на 9,4% ($p = 0,011$) и на 14 суток — на 15,9% ($p = 0,003$) от значения сразу после действия ОНГ.

Таблица 2. Экспрессия генов Sod1, Cat, GPX1 и GSR в тканях мозга и сердца крыс в норме, тыс. копий, $M \pm m$
Table 2. Expression of Sod1, Cat, GPX1 and GSR genes in brain and heart tissues of normal rats, thousands of copies, $M \pm m$

Ген	Ткань	1 группа	
		Самцы	Самки
Sod1	Мозг	30141 $\pm$ 1085	31463 $\pm$ 1101
Cat	Мозг	10762 $\pm$ 387,43	11123 $\pm$ 389,31
GPX1	Мозг	137585 $\pm$ 4465	136211 $\pm$ 4541
GSR	Мозг	59469 $\pm$ 2141	58492 $\pm$ 1872
Sod1	Сердце	81555 $\pm$ 2772	86531 $\pm$ 2769
Cat	Сердце	34004 $\pm$ 1258	34619 $\pm$ 1281
GPX1	Сердце	168254 $\pm$ 6057	171314 $\pm$ 5310
GSR	Сердце	94671 $\pm$ 3408	93876 $\pm$ 3379

Экспрессия мРНК гена GSR в тканях мозга самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ существенно повысилась, и в динамике на 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено плавное снижение экспрессии мРНК гена GSR у животных обоего пола: у самцов на 1 сутки после ОНГ экспрессия гена снизилась на 2,3%, на 7 суток — на 7,3%, а на 14 суток — на 11,4% ($p = 0,022$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ; а у самок на 1 сутки снизилась незначительно, на 7 суток — на 8,1%, а на 14 суток — на 13,0% ($p = 0,031$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ.

Анализ экспрессии мРНК гена Sod1 показал, что в тканях сердца самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ она существенно повысилась, и в динамике на 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено плавное снижение экспрессии мРНК гена Sod1 у животных обоего пола: у самцов на 1 сутки после ОНГ экспрессия гена снизилась на 3,9%, на 7 суток — на 7,3%, а на 14 суток — на 12,5% ($p = 0,001$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ; а у самок на 1 сутки снизилась на 5,1%, на 7 суток — на 10,2% ($p = 0,027$), а на 14 суток — на 16,0% ($p = 0,001$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ.

Рис. 1. Экспрессия мРНК генов Sod1, Cat, GPX1 и GSR в тканях мозга крыс сразу после воздействия ОНГ, через 1 сутки, 7 суток и 14 суток, тыс. копий, $M \pm m$

Fig. 1. Expression of mRNA of the Sod1, Cat, GPX1, and GSR genes in rat brain tissue immediately after exposure to ONG, after 1 day, 7 days, and 14 days, thousand copies, $M \pm m$

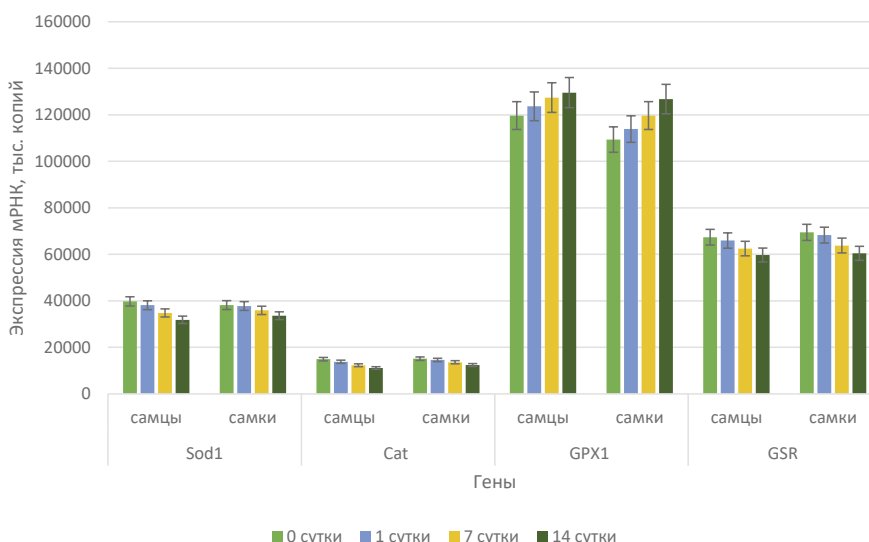
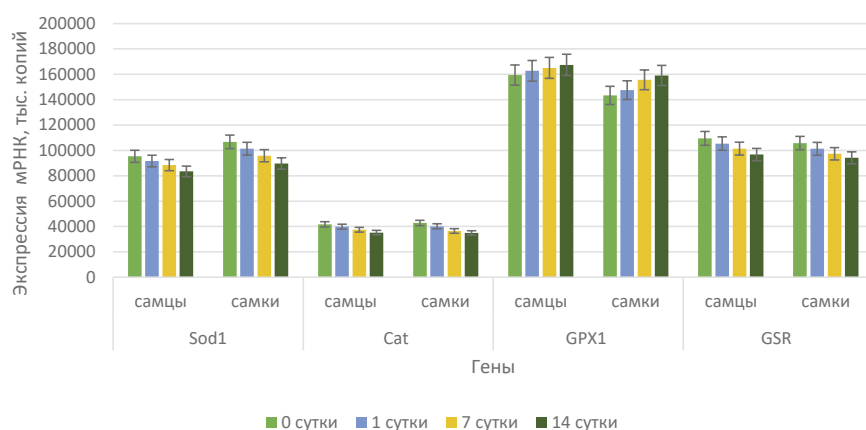


Рис. 2. Экспрессия мРНК генов Sod1, Cat, GPX1 и GSR в тканях сердца крыс сразу после воздействия ОНГ через 1 сутки, 7 суток и 14 суток, тыс. копий, $M \pm m$

Fig. 2. mRNA expression of the Sod1, Cat, GPX1, and GSR genes in rat heart tissue immediately after exposure to ONG after 1 day, 7 days, and 14 days, thousand copies, $M \pm m$



Анализ экспрессии мРНК гена Cat показал, что в тканях сердца самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ она существенно повысилась, и в динамике на 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено плавное снижение экспрессии мРНК гена Cat у животных обоего пола: у самцов на 1 сутки после ОНГ экспрессия гена снизилась на 4,5%, на 7 суток — на 10,2% ($p = 0,001$), а на 14 суток — на 15,6% ($p = 0,004$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ; а у самок на 1 сутки снизилась на 6,1%, на 7 суток — на 14,7% ($p = 0,001$), а на 14 суток — на 18,3% ($p = 0,001$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ.

Экспрессия мРНК гена GPX1 в тканях сердца самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ существенно снизилась, и в динамике на 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено возрастание экспрессии мРНК гена GPX1 в тканях сердца: у самцов в динамике исследуемых суток экспрессия гена повысилась незначительно от значения сразу после ОНГ, а у самок — на 1 сутки экспрессия повысилась на 2,9% от значения сразу после ОНГ, на 7 суток — на 8,6% от значения сразу после ОНГ, а на 14 суток — на 11,0% ($p = 0,001$) от исходного значения.

Экспрессия мРНК гена GSR в тканях сердца самцов и самок крыс сразу после действия ОНГ существенно повысилась, и в динамике на 1, 7 и 14 сутки после воздействия ОНГ выявлено плавное снижение экспрессии мРНК гена GSR у животных обоего пола: у самцов на 1 сутки после ОНГ экспрессия гена снизилась на 3,7%, на 7 суток — на 7,4%, а на 14 суток — на 11,7% ($p = 0,001$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ; а у самок на 1 сутки снизилась на 4,3%, на 7 суток — на 8,0% ($p = 0,001$), а на 14 суток — на 11,0% ($p = 0,022$) от значения, полученного сразу после действия ОНГ.

В нашем исследовании установлено значимое увеличение экспрессии мРНК генов Sod1, Cat и GSR в тканях мозга и сердца самцов и самок крыс сразу после воздействия ОНГ, причем у самок в большей степени, чем у самцов, а затем, через

1 сутки, 7 суток и 14 суток после воздействия ОНГ установлено снижение экспрессии гена, а экспрессия мРНК гена GPX1, в тканях мозга и сердца самцов и самок крыс сразу после воздействия ОНГ достоверно снижалась, причем у самок в большей степени, чем у самцов, а затем, через 1 сутки, 7 суток и 14 суток после воздействия ОНГ установлено восстановление экспрессии этого гена.

Увеличение экспрессии мРНК генов Sod1, Cat и GSR и снижение экспрессии

мРНК гена GPX1 в мозге и сердце сразу после действия ОНГ и стабилизация экспрессии этих генов с течением времени отражает переход клеток от стадии первичного повреждения к стадии адаптивного ответа.

Сразу после действия ОНГ в тканях наблюдаются процессы декомпенсации и повреждения. В условиях острого дефицита кислорода в клетках резко падает уровень АТФ, что ведет к общему подавлению трансляции белков. Кроме того, первичный всплеск свободных радикалов может приводить к деградации мРНК или ингибированию транскрипционных факторов, ответственных за антиоксидантную защиту. А стабилизация экспрессии мРНК генов антиоксидантных ферментов в течение 14 суток свидетельствует о включении защитных адаптационных механизмов. По мере развития гипоксического ответа активируются транскрипционные факторы, такие как HIF-1 (фактор, индуцируемый гипоксией) и Nrf2. (Nuclear factor erythroid 2-related factor 2), главный транскрипционный фактор, отвечающий за выживание клетки в условиях стресса, которые запускают синтез ферментов антиоксидантной системы, чтобы нейтрализовать накопившиеся активные формы кислорода и подготовить клетки к реоксигенации, когда лавинообразное образование свободных радикалов может вызвать ее гибель.

Установленные закономерности в функционировании антиоксидантных ферментов при гипоксии универсальны для всех млекопитающих животных благодаря фундаментальной консервативности системы антиоксидантной защиты организма. Ферменты СОД, каталаза, ГП и ГР появились в ходе эволюции как жизненно важный механизм выживания в кислородной среде и генетические последовательности, а также регуляторные пути этих ферментов у млекопитающих схожи. Реакция генома на нехватку кислорода у всех млекопитающих управляется фактором, индуцируемым гипоксией (HIF-1 α) и он связывается с участками ДНК, которые идентичны в тканях млекопитающих.

В литературе встречаются исследования по изучению влияния различной гипоксии на динамику экспрессии генов антиоксидантных ферментов. Так, в работе Huang и соавторов по изучению динамики экспрессии мПНК мПНК GPx, CAT и CuZnSOD в 9 различных тканях свиней, перенесших ПГ, установлено, что в печени уровни мПНК достигали максимума в возрасте 42–126 дней, после чего снижаются, а в скелетных мышцах экспрессия мПНК SOD стабильно растет после рождения, что отражает адаптацию к возрастающим метаболическим нагрузкам [20].

В работе Fan Wang и соавторов при изучении адаптации тибетских овец к высокогорной гипоксии было установлено, что уровень мПНК MnSOD (SOD2) в миокарде и легких этих животных значительно выше, чем у животных с равнин, что связано с активностью фактора STAT3 (Signal Transducer and Activator of Transcription 3), регулирующего транскрипцию антиоксидантных ферментов [21].

В работе Yang Liu и соавторов установлено, что у птиц, находящихся в условиях хронической гипоксии (высокогорье), значительно повышается экспрессия генов, связанных с гипоксией (HIF-1A, VEGF, EPO). При этом уровень экспрессии мПНК T-SOD (супероксиддисмутазы) у высокогорных птиц был ниже, чем у равнинных, что указывает на специфическую адаптацию и возможный «перерасход» антиоксидантных ресурсов при длительном стрессе [22].

В целом, острая гипоксия обычно вызывает кратковременный всплеск экспрессии мПНК

Sod1, Cat и GSR и одновременное снижение мПНК GPX1, а хроническая гипоксия может приводить к снижению уровня мПНК антиоксидантных ферментов в некоторых тканях (например, печени) из-за истощения адаптационных резервов, либо к установлению нового гомеостатического уровня у адаптированных пород животных.

Выводы/Conclusions

Увеличение экспрессии мПНК Sod1, Cat и GSR и одновременное снижение мПНК GPX1 в мозге и сердце крыс сразу после действия ОНГ, за которым следует стабилизация уровней этих генов, отражает смену острой реакции на гипоксию (стадия тревоги) фазой долговременной адаптации. В раннем постстрессовом окне усиление антиоксидантной защиты за счет Sod1, Cat и GSR свидетельствует о быстрой мобилизации механизмов детоксикации активных форм кислорода и восстановления окислительного гомеостаза, необходимого для сохранения жизнеспособности клеток. Одновременное снижение экспрессии GPX1 может указывать на перераспределение составляющих глутатионного пути или временную перегрузку определенных компонент пула глутатиона, что компенсируется последующей стабилизацией экспрессии и переходом в устойчивый адаптивный режим.

Полученные данные о временной динамике экспрессии генов могут служить теоретическим обоснованием для определения «терапевтического окна» при лечении последствий гипоксии у новорожденных животных.

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. Абдулаева Л.М. Влияние хронической гипоксии на формирование перинатальных поражений ЦНС у детей различного гестационного возраста. Актуальные проблемы педиатрии и детской хирургии. Материалы V научно-практической конференции с международным участием. Махачкала: ДГМУ. 2019; 73–74. EDN VZFRFK
2. Гончарова О.В., Машковцева Е.В., Нарциссов Я.Р. Метаболическая терапия в реабилитации детей с последствиями перинатальной гипоксии. Вопросы практической педиатрии. 2023; 18(2): 102–110. <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2023-2-102-110>
3. Жуков М.С., Паршин П.А., Алехин Ю.Н., Шапошников И.Т., Бригадиров Ю.Н. Цитокиновый профиль у новорожденных телят, перенесших антенатальную и интранатальную гипоксию. Международный вестник ветеринарии. 2025; (1): 326–332. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.326>
4. Гречишников В.В., Панин А.И., Панин И.Г., Попов С.А., Пожарская О.А. Профилактика послеродовых патологий у свиней. Эффективное животноводство. 2024; (6): 47–49. EDN OSEWZL
5. Mota-Rojas D., Villanueva-García D., Solimano A., Muns R., Ibarra-Ríos D., Mota-Reyes A. Pathophysiology of Perinatal Asphyxia in Humans and Animal Models. Biomedicine. 2022; 10(2): 347. <https://doi.org/10.3390/biomedicine10020347>
6. Самойленко В.С., Лапина А.А., Живодерова А.И., Пушкин С.В., Светлакова Е.В. Комплексный мониторинг и прогнозирование пренатальных нарушений у телят, рожденных от коров с осложненной беременностью. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025; 17(6-2): 313–327 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1549>

REFERENCES

1. Abdulyeva L.M. The impact of chronic hypoxia on the development of perinatal CNS lesions in children of different gestational ages. Current issues in pediatrics and pediatric surgery. Proceedings of the V Scientific and practical conference with international participation. Makhachkala: Dagestan State Medical University. 2019; 73–74 (in Russian). EDN VZFRFK
2. Goncharova O.V., Mashkovtseva E.V., Nartsissov Y.R. Metabolic therapy in the rehabilitation of children with the consequences of perinatal hypoxia. Clinical Practice in Pediatrics. 2023; 18(2): 102–110 (in Russian). <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2023-2-102-110>
3. Zhukov M.S., Parshin P.A., Alekhin Yu.N., Shaposhnikov I.T., Brigadirov Yu.N. Cytokine profile in newborn calves after antenatal and intranatal hypoxia. International Journal of Veterinary Medicine. 2025; (1): 326–332 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.326>
4. Grechishnikov V.V., Panin A.I., Panin I.G., Popov S.A., Pozharskaya O.A. Prevention of postpartum pathologies in pigs. Effektivnoye zhivotnovodstvo. 2024; (6): 47–49 (in Russian). EDN OSEWZL
5. Mota-Rojas D., Villanueva-García D., Solimano A., Muns R., Ibarra-Ríos D., Mota-Reyes A. Pathophysiology of Perinatal Asphyxia in Humans and Animal Models. Biomedicine. 2022; 10(2): 347. <https://doi.org/10.3390/biomedicine10020347>
6. Samoylenko V.S., Lapina A.A., Zhivoderova A.I., Pushkin S.V., Svetlakova E.V. Comprehensive monitoring and prediction of prenatal disorders in calves born from cows with complicated pregnancy. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025; 17(6-2): 313–327. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1549>

7. Alonso-Spilsbury M. *et al.* Perinatal asphyxia pathophysiology in pig and human: A review. *Animal Reproduction Science*. 2005; 90(1–2): 1–30.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.01.007>
8. Vodolazska D., Feyera T., Lauridsen C. The impact of birth weight, birth order, birth asphyxia, and colostrum intake per se on growth and immunity of the suckling piglets. *Scientific Reports*. 2023; 13: 8057.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-35277-3>
9. Карашаев М.Ф. Гемодинамический ответ организма при гипоксическом стрессе. *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2018; (4): 61–64. EDN VXCCJA
10. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Сороковикова Т.В., Девяткин А.А. Некоторые аспекты метаболизма липидов в тканях головного мозга и сердца крыс на фоне острой гемической гипоксии при применении антигипоксантов. *Аграрная наука*. 2025; (3): 36–46.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-36-46>
11. Канаева Е.С., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Зайцев В.В., Девяткин А.А., Павлова К.А. Исследование обмена неэстерифицированных жирных кислот и кетонных тел на фоне острой гипоксии разного генеза и нагрузки антигипоксантами. *Аграрная наука*. 2025; (9): 15–21.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-15-21>
12. Abuelo A., Hernández J., Benedito J.L., Castillo C. Oxidative stress index (OSi) as a new tool to assess redox status in dairy cattle during the transition period. *Animal*. 2013; 7(8): 1374–1378.
<https://doi.org/10.1017/S1751731113000396>
13. Shellenberger N.W., Collinsworth K.K., Subbiah S., Klein D., Neary J.M. Hypoxia induces an increase in intestinal permeability and pulmonary arterial pressures in neonatal Holstein calves despite feeding the flavonoid rutin. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(3): 2821–2828.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17289>
14. Нечитайло Ю.Н., Годованец А.С. Клинико-молекулярные механизмы родового оксидативного стресса у недоношенных детей. *Педиатрия. Восточная Европа*. 2021; 9(4): 511–521 (на англ. яз.).
<https://doi.org/10.34883/Pl.2021.9.4.001>
15. Каримов Д.О. и др. Динамика экспрессии гена супероксиддисмутазы-1 при разных видах лекарственной коррекции токсических нарушений в печени. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(1): 83–86.
<https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-83-86>
16. Аладьева Т.Л., Зиматкин С.М. Каталаза клетки: строение, биогенез, многообразие, функции. *Экспериментальная биология и биотехнология*. 2022; (1): 12–22.
<https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-1-12-22>
17. Муслимова Э.Ф., Реброва Т.Ю., Кужелева Е.А., Гарганеева А.А., Афанасьев С.А. Значимость полиморфного варианта rs1050450 гена глутатионпероксидазы 1 в структуре факторов риска прогрессирования ишемической болезни сердца. *Клиническая медицина*. 2024; 102(7): 536–541.
<https://doi.org/10.30629/0023-2149-2024-102-7-536-541>
18. Бушуева О.Ю. и др. Ген глутатионредуктазы GSR как возможный ген-кандидат предрасположенности к миоме матки. *Медицинская генетика*. 2021; 20(3): 41–46.
<https://doi.org/10.25557/2073-7998.2021.03.41-46>
18. Stadlin A., James A., Fiscus R., Wong Y.F., Rogers M., Haines C. Development of a postnatal 3-day-old rat model of mild hypoxic-ischemic brain injury. *Brain Research*. 2003; 993(1–2): 101–110.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2003.08.058>
19. Bayer S.A., Altman J., Russo R.J., Zhang X. Timetables of neurogenesis in the human brain based on experimentally determined patterns in the rat. *Neurotoxicology*. 1993; 14(1): 83–144.
20. Xu C.L., Wang Y.Z., Guo J., Liu J.X., Feng J. Comparison of age-related differences in expression of antioxidant enzyme mRNA and activity in various tissues of pigs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 2007; 147(3): 445–451.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2007.02.007>
21. Wang F., Liu J., Zeng Q., Zhuoga D. Comparative analysis of long noncoding RNA and mRNA expression provides insights into adaptation to hypoxia in Tibetan sheep. *Scientific Reports*. 2022; 12: 6597.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-08625-y>
22. Liu Y. *et al.* Comparative analysis of respiratory metabolism, blood physiology, antioxidant capacity, and hypoxia-related gene expression in Snowy White chickens raised at high and low altitudes. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105378.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105378>
7. Alonso-Spilsbury M. *et al.* Perinatal asphyxia pathophysiology in pig and human: A review. *Animal Reproduction Science*. 2005; 90(1–2): 1–30.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.01.007>
8. Vodolazska D., Feyera T., Lauridsen C. The impact of birth weight, birth order, birth asphyxia, and colostrum intake per se on growth and immunity of the suckling piglets. *Scientific Reports*. 2023; 13: 8057.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-35277-3>
9. Karashaev M.F. Hemodynamic response of the organism during hypoxic stress. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2018; (4): 61–64 (in Russian). EDN VXCCJA
10. Kanaeva E.S., Pavlova O.N., Gulenko O.N., Sorokovikova T.V., Devyatkin A.A. Some aspects of lipid metabolism in rat brain and heart tissues against the background of acute hemich hypoxia. *Agrarian science*. 2025; (3): 36–46 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-36-46>
11. Kanaeva E.S., Pavlova O.N., Gulenko O.N., Zaitsev V.V., Devyatkin A.A., Pavlova K.A. Study of the metabolism of unesterified fatty acids and ketone bodies against the background of acute hypoxia of different genesis and loading with antihypoxants. *Agrarian science*. 2025; (9): 15–21 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-15-21>
12. Abuelo A., Hernández J., Benedito J.L., Castillo C. Oxidative stress index (OSi) as a new tool to assess redox status in dairy cattle during the transition period. *Animal*. 2013; 7(8): 1374–1378.
<https://doi.org/10.1017/S1751731113000396>
13. Shellenberger N.W., Collinsworth K.K., Subbiah S., Klein D., Neary J.M. Hypoxia induces an increase in intestinal permeability and pulmonary arterial pressures in neonatal Holstein calves despite feeding the flavonoid rutin. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(3): 2821–2828.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17289>
14. Nechytailo Yu., Godovanets O. Clinical and Molecular Mechanisms of Labor Oxidative Stress in Premature Infants. *Pediatrics. Eastern Europe*. 2021; 9(4): 511–521.
<https://doi.org/10.34883/Pl.2021.9.4.001>
15. Karimov D.O. *et al.* Dynamics of superoxide dismutase-1 gene expression in different types of drug correction of toxic disorders in the liver. *Hygiene and Sanitation*. 2022; 101(1): 83–86 (in Russian).
<https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-83-86>
16. Aladyeva T.L., Zimatkin S.M. Cellular catalase: structure, biogenesis, diversity, functions. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2022; (1): 12–22 (in Russian).
<https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-1-12-22>
17. Muslimova E.F., Rebrova T.Yu., Kuzheleva E.A., Garganeeva A.A., Afanasyev S.A. The significance of the rs1050450 polymorphic variant of the glutathione peroxidase 1 gene in the structure of risk factors for the progression of coronary artery disease. *Clinical Medicine (Russian Journal)*. 2024; 102(7): 536–541 (in Russian).
<https://doi.org/10.30629/0023-2149-2024-102-7-536-541>
18. Bushueva O.Yu. *et al.* GSR (glutathione reductase) gene as a possible candidate gene for predisposition to uterine fibroids. *Medical Genetics*. 2021; 20(3): 41–46 (in Russian).
<https://doi.org/10.25557/2073-7998.2021.03.41-46>
18. Stadlin A., James A., Fiscus R., Wong Y.F., Rogers M., Haines C. Development of a postnatal 3-day-old rat model of mild hypoxic-ischemic brain injury. *Brain Research*. 2003; 993(1–2): 101–110.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2003.08.058>
19. Bayer S.A., Altman J., Russo R.J., Zhang X. Timetables of neurogenesis in the human brain based on experimentally determined patterns in the rat. *Neurotoxicology*. 1993; 14(1): 83–144.
20. Xu C.L., Wang Y.Z., Guo J., Liu J.X., Feng J. Comparison of age-related differences in expression of antioxidant enzyme mRNA and activity in various tissues of pigs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 2007; 147(3): 445–451.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2007.02.007>
21. Wang F., Liu J., Zeng Q., Zhuoga D. Comparative analysis of long noncoding RNA and mRNA expression provides insights into adaptation to hypoxia in Tibetan sheep. *Scientific Reports*. 2022; 12: 6597.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-08625-y>
22. Liu Y. *et al.* Comparative analysis of respiratory metabolism, blood physiology, antioxidant capacity, and hypoxia-related gene expression in Snowy White chickens raised at high and low altitudes. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105378.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105378>

ОБ АВТОРАХ

Екатерина Валерьевна Макарова-Горбачева¹
старший преподаватель
fedotova.nat@mail.ru

Ольга Николаевна Павлова²
доктор биологических наук, доцент, заведующий
кафедрой физиологии
casiopeya13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8055-1958>

Ольга Николаевна Гуленко²
кандидат биологических наук, доцент
gulenko_ol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6338-7095>

Елена Викторовна Лукенюк³
кандидат технических наук, доцент
e.lukenuk@samgups.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5482-3075>

Гайрат Баходирович Балиев²
студент
gayratov.g@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1005-1472>

Анастасия Дмитриевна Сысоева²
студент
vika.beretta@list.ru
<https://orcid.org/0009-0005-8708-1660>

Ани Барсамовна Зурначян²
студент
zurnachyana@icloud.com
<https://orcid.org/0009-0008-4165-1420>

Анастасия Сергеевна Светкина²
студент
SvetkinaAn@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1925-5601>

¹ Частное учреждение образовательная организация
высшего образования «Медицинский университет
«Реавиз»»,
ул. им. Чкалова, д. 100, г. Самара, 443099, Россия

² Самарский государственный медицинский университет
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
ул. Чапаевская, 89, Самара, 443099, Россия

³ Приволжский государственный университет путей
сообщения,
ул. Свободы, 2 В, Самара, 443066, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina Valerievna Makarova-Gorbacheva¹
senior lecturer
fedotova.nat@mail.ru

Olga Nikolayevna Pavlova²
Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
Head of the Department of Physiology²
casiopeya13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8055-1958>

Olga Nikolayevna Gulenko²
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
gulenko_ol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6338-7095>

Elena Viktorovna Lukenyuk³
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e.lukenuk@samgups.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5482-3075>

Gayrat Bakhodirovich Baliev²
student
gayratov.g@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1005-1472>

Anastasia Dmitrievna Sysoeva²
student
vika.beretta@list.ru
<https://orcid.org/0009-0005-8708-1660>

Ani Barsamovna Zurnachyan²
student
zurnachyana@icloud.com
<https://orcid.org/0009-0008-4165-1420>

Anastasia Sergeevna Svetkina²
student
SvetkinaAn@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1925-5601>

¹ Private educational institution of higher education «Medical
University «REAVIZ»,
100 Chkalova st., Samara, 443099, Russia

² Samara State Medical University of the Ministry of Health of
the Russian Federation,
89 Chapaevskaya st., Samara, 443099, Russia

³ Volga Region State University of Railway Transport,
2 V Svobody st. Samara, 443066, Russia

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453,
по agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ
ООО «Урал-Пресс Округ»
<https://www.ural-press.ru/catalog/>

» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
на отраслевом портале
<https://agrarnayanauka.ru/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru



УДК 636.2.084.1.053.2:546.76:612.1)

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-87-94

И.П. Новгородова¹ ✉

М.Г. Чабаев¹

Р.В. Некрасов²

Н.В. Боголюбова¹

¹Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, посёлок Дубровицы, городской округ Подольск, Московская область, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных — филиала ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, посёлок Институт, город Боровск, Калужская область, Россия

✉ novg-inna2005@yandex.ru

Поступила в редакцию: 10.02.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Новгородова И.П., Чабаев М.Г., Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В.

Гормональный и биохимический статус организма ремонтных телок при скармливании хрома в органической форме

РЕЗЮМЕ

Разработка норм кормления крупного рогатого скота с учетом важнейших элементов питания, к которым относится микроэлемент хром, весьма востребована. Цель исследований заключалась в изучении гормонального статуса и биохимических показателей крови ремонтных телок при скармливании пропионата хрома в разном количестве и выявлении корреляционных связей между исследуемыми показателями. Работа была проведена на ремонтных телках (15 голов) черно-пестрой голшти-низированной породы в возрасте от 6 до 9 месяцев в ОАО «Предприятие «Емельяновка» (АО ОСП АГРО) с. Емельяновка, Московской области. Телки были разделены на 3 группы: I группа — контроль (основной рацион, n = 5), II группа — опытная (основной рацион + 3,75 мг/гол. в сутки пропионата хрома, n = 5) и III группа — опытная (основной рацион + 2,81 мг/гол в сутки пропионата хрома, n = 5) из расчета 0,02 мг/кг живой массы. В конце опыта продолжительностью 90 дней были отобраны образцы крови животных и проведено исследование их гормонального статуса по трийодтирону (T_3), тироксину (T_4), тиреотропному гормону (ТТГ) и кортизолу, а также отдельным биохимическим показателям. Скармливание хрома ремонтным телкам дополнительно к основному рациону позволило выявить выраженные отличия между исследуемыми группами по содержанию кортизола, при сравнении контрольной группы со II группой на 56,0% ($p < 0,05$) и с III группой — на 9,5%. Незначительные отличия были отмечены между II и III группами по концентрации тироксина и трийодтиронина, 21,70 пмоль/л и 19,64 пмоль/л; 10,39 пмоль/л и 9,64 пмоль/л, соответственно. В ходе исследований были выявлены высокие положительные корреляционные связи во II и в III опытных группах между глюкозой и кортизолом ($r = 0,890$; $p < 0,05$ и $r = 0,931$; $p < 0,05$) и между глюкозой и T_3 ($r = 0,890$; $p < 0,05$ и $r = 0,915$; $p < 0,05$).

Ключевые слова: крупный рогатый скот, ремонтные телки, хром, гормональный статус, кортизол, тироксин, трийодтиронин, биохимия крови

Для цитирования: Новгородова И.П., Чабаев М.Г., Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В. Гормональный и биохимический статус организма ремонтных телок при скармливании хрома в органической форме. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 87–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-87-94>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-87-94

Inna P. Novgorodova¹ ✉

Magomed G. Chabaev¹

Roman V. Nekrasov²

Nadezhda V. Bogolyubova¹

¹L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow region, Russia

²All-Russia Research Institute of Animal Physiology, Biochemistry, and Nutrition — Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, village Institute, Borovsk, Kaluga Region, Russia

✉ novg-inna2005@yandex.ru

Received by the editorial office: 10.02.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Novgorodova I.P., Chabaev M.G., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V.

Hormonal and biochemical status of the body of repair heifers when feeding chromium in organic

ABSTRACT

The development of feeding standards for cattle, taking into account the most important elements of nutrition, which include the trace element chromium, is in demand. The purpose of the studies was to study the hormonal status and biochemical parameters of the blood of repair heifers when feeding different amounts of chromium propionate and to identify correlations between the studied parameters. The work was carried out on repair heifers (15 heads) of black-and-white Holstein breed aged from 6 to 9 months at JSC Enterprise Yemelyanovka (JSC OSP AGRO) in the village of Yemelyanovka, Moscow region. Heifers were divided into 3 groups: group I — control (basic diet, n = 5), group II — experimental (basic diet + 3.75 mg/head per day of chromium propionate, n = 5) and group III — experimental (basic diet + 2.81 mg/head per day of chromium propionate, n = 5) at 0.02 mg/kg bw. At the end of the 90-day experiment, animal blood samples were taken and their hormonal status was studied for triiodothyronine (T_3), thyroxine (T_4), thyroid-stimulating hormone (TSH) and cortisol, as well as individual biochemical parameters. Feeding chromium to repair heifers in addition to the main diet revealed pronounced differences between the studied groups in terms of cortisol content, when comparing the control group with group II by 56.0 ($p < 0.05$) and with group III by 9.5%. Minor differences were noted between groups II and III in thyroxine and triiodothyronine concentrations, 21.70 pmol/l and 19.64 pmol/L; 10.39 pmol/l and 9.64 pmol/L, respectively. The studies revealed high positive correlations in the II and III experimental groups between glucose and cortisol ($r = 0.890$; $p < 0.05$ and $r = 0.931$; $p < 0.05$) and between glucose and T_3 ($r = 0.890$; $p < 0.05$ and $r = 0.915$; $p < 0.05$).

Key words: cattle, repair heifers, chromium, hormonal status, cortisol, thyroxine, triiodothyronine, blood

For citation: Novgorodova I.P., Chabaev M.G., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V. Hormonal and biochemical status of the body of repair heifers when feeding chromium in organic. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 87–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-87-94>

Введение/Introduction

Роль минеральных веществ в обменных процессах животных доказана многими исследователями [1–3]. Нормы их потребления зависят от многих факторов, основными из которых являются физиологическое состояние (возраст, беременность, лактация) и уровень продуктивности животных. Существует необходимость в разработке норм кормления по важнейшим элементам питания, один из которых — хром [4, 5].

В исследованиях многих авторов было выявлено, что хром является незаменимым микроэлементом для организма животных. Он играет важную роль в снижении действия теплового и окислительного стресса, стимулирует рост и развитие, а также взаимодействует с ферментами, гормонами, нуклеиновыми кислотами и витаминами [2, 5–8]. Было отмечено, что метаболизм хрома жизненно важен для удовлетворения потребности животных и поддержания нормальных биологических функций, в то время как недостаток или избыток этого микроэлемента может привести к дефициту и даже токсическому отравлению [9, 10]. Это ведет к нарушению обмена веществ и снижению продуктивности. Именно поэтому рационы жвачных животных необходимо обеспечить минеральными добавками, содержащими микроэлементы [11].

По данным С.В. Лебедева с коллегами (2021 г.), «важным инструментом регуляции обмена хрома в организме является его способность проникать через стенку кишечника» [7]. Это зависит от размера и наличия пищеварительных веществ в корме, таких как витамины и аминокислоты. Хром обладает чрезмерно низкой усвояемостью и всасываемостью, но необходимо учитывать, что органические формы усваиваются примерно на 25%, а неорганические — около 3% [12]. Исследователями было доказано, что независимо от увеличения содержания хрома в рационе (40–240 мкг/сут), уровень его всасывания составляет 0,4–2% [1, 13, 14].

Вопросами кормления крупного рогатого скота с учетом оптимальных доз хрома занимались многие ученые [2, 3, 11, 15–17]. Их исследованиями было установлено, что использование трехвалентного хрома в рационах приводит к интенсивному росту и развитию молодняка, улучшению переваримости питательных веществ кормов.

Пропионат хрома используют в качестве добавки для крупного рогатого скота в количестве до 0,50 мг на 1 кг сухого вещества. Скармливание телкам этого микроэлемента в дозе от 0,47 до 1,42 мг на 1 кг сухого вещества приводит к влиянию на метаболизм глюкозы [15, 17]. Было выявлено положительное влияние добавок хрома на среднесуточный прирост, обмен углеводов и белка, улучшение активности инсулина [17, 18].

Особый интерес вызывает улучшение состояния телят при использовании скармливания хрома во время стрессовых ситуаций (снижение частоты заболеваний при транспортировке, вакцинации и т.д.) [19–28, 17].

Стресс сопровождается повышением концентрации кортизола в сыворотке крови животных, а включение хрома в рацион телят приводит к снижению концентрации кортизола [20, 27, 29]. Добавление хрома в виде обогащенных дрожжей при скармливании телятам в дозе 200, 500 или 1000 мкг/кг позволяло повысить прирост (на 29%), переваримость корма (на 15%), при этом наблюдалось линейное снижение кортизола в сыворотке крови в зависимости от увеличения дозы хрома [20, 17].

Биохимические и гормональные показатели крови являются важными факторами оценки состояния здоровья, физиологического статуса и продуктивности животных [29, 30], также выступают индикаторами благополучия животных.

При изучении вопроса применения органических форм минеральных веществ в питании животных недостаточно информации о влиянии пропионата хрома на биохимический и гормональный статус организма ремонтных телок.

Цель исследований — изучение гормонального статуса и биохимических показателей крови ремонтных телок при скармливании пропионата хрома в разной дозе и выявление корреляционных связей между исследуемыми показателями.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были проведены на ремонтных телках черно-пестрой голштинизированной породы в возрасте от 6 до 9 месяцев (с февраля по апрель в течение 90 дней), с живой массой при постановке на опыт 205 кг при скармливании дополнительно к рациону пропионата хрома (производитель ООО «Виталаб, г. Самара») в разном количестве в ОАО «Предприятие «Емельяновка» (АО ОСП АГРО) с. Емельяновка, Московской области.

Основной рацион, используемый для кормления ремонтных телок, был представлен люцерновым сенажом (5,0 кг), кукурузным силосом (5,0 кг), люцерновым сеном (0,5 кг), комбикормом ККМ КС-51 (1,2 кг), рапсовым жмыхом (30 г) и поваренной солью (50 г).

Содержание исследуемых животных (температура, влажность, освещение) для всех групп соответствовали действующим зоогигиеническим нормативам.

Животные были разделены на 3 группы: I группа — контрольная, получала основной рацион (ОР) (n = 5), II группа — опытная, скармливали дополнительно к ОР в составе премикса 3,75 мг/гол. в сутки пропионата хрома (n = 5) из расчета 0,02 мг/кг живой массы (100% по результатам опыта М.Г. Чабая с соавторами (2025 г.) по

определению оптимальных норм хрома)¹ и III группа — опытная, скормливали 2,81 мг/гол. в сутки пропионата хрома ($n = 5$) (75%). Дозировка основана на предварительном изучении источников литературы по вопросу использования органических форм хрома в рационах крупного рогатого скота [8, 16].

Для проведения исследований гормонального статуса у животных была отобрана кровь из яремной вены. Сыворотку крови замораживали при -20°C до ее использования.

Эксперименты проводили согласно основам и принципам надлежащего содержания и ухода за животными в соответствии с Директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. по защите и охране животных, используемых в научных целях².

Исследования гормонов проводили в отделе кормления сельскохозяйственных животных в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» с использованием автоматического микропланшетного фотометра Immunochem-2100 (High Technology Inc., США) и наборов фирмы «Иммунотех» (Россия). В ходе исследований были исследованы следующие показатели: тироксин (T_4 св.), трийодтиронин (T_3 св.), тиреотропный гормон (ТТГ) и кортизол, а также с целью оценки функционального состояния щитовидной железы рассчитывали интегральный тиреоидный индекс (ИТИ) и индекс периферической конверсии (ИПК)³.

Исследование биохимических показателей крови были проведены в отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных на биохимическом анализаторе ERBA XL-640 (Чехия) с использованием реагентов производителя. Были определены: общий белок, альбумин, глобулин, креатинин, мочевины, АЛТ, АСТ, щелочная фосфатаза, холестерин, билирубин общий, глюкоза, триглицериды, магний, кальций, фосфор, железо и хлориды.

Статистический анализ полученных результатов проводили с применением дисперсионного анализа (ANOVA) в программе STATISTICA 10.0 (StatSoft, Inc., 2011, США) с использованием методов описательной статистики и корреляционного анализа. Были рассчитаны средние арифметические значения ($\bar{X}$), стандартные ошибки среднего ($\pm S_{\bar{x}}$). Достоверность различий оценивали по уровню значимости (p), достоверные различия имели статистически значимую тенденцию при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Были изучены гормональные профили и биохимические показатели крови ремонтных телок в возрасте от 6 до 9 месяцев, которым скормливали хром органической формы в разном количестве (таблица 1 и 2). Из таблицы 1 видно, что существенного влияния скормливание хрома в опытных группах на концентрацию тиреотропных гормонов не наблюдалось. Использование пропионата хрома в разной концентрации ремонтным телкам практически не отразилось на содержании в сыворотке крови тиреотропного гормона, в опытных группах концентрация гормона составила 0,48 мМЕ/л и 0,43 мМЕ/л, соответственно, и в контрольной — 0,47 мМЕ/л.

Выраженные отличия между исследуемыми группами были выявлены по содержанию кортизола в контрольной группе и при сравнении со II группой составил 56,0%. Уровень достоверности по концентрации кортизола между II опытной группой и контролем был установлен на уровне $p < 0,05$.

Незначительные отличия были отмечены между группами по концентрации тироксина (во II группе — 21,70 пмоль/л и в III группе — 19,64 пмоль/л) и трийодтиронину (во II группе — 10,39 пмоль/л и в III группе — 9,64 пмоль/л). Уровень достоверности по концентрации тироксина между III группой и контролем находился на уровне $p < 0,05$.

Исследуемые показатели были в пределах физиологических норм. Индекс периферической конверсии особо не отличался в опытных группах животных и в контроле, составил 2,19; 2,07 и 2,18 (данные не достоверны). В то время как интегральный тиреоидный индекс имел

Таблица 1. Показатели гормонального профиля ремонтных телок ($n = 15$, $\bar{X} \pm S_x$)

Table 1. Indicators of hormonal profile of repair heifers ($n = 15$, $\bar{X} \pm S_x$)

Показатели	Группа		
	I группа (контроль)	II группа	III группа
Кортизол, нмоль/л min-max	105,83 $\pm$ 18,22 69,61–171,35	59,28 $\pm$ 11,28* 21,88–82,87	96,63 $\pm$ 12,06 66,29–121,28
T_4 св., пмоль/л min-max	22,43 $\pm$ 0,95 19,51–25,13	21,70 $\pm$ 0,48 20,24–22,97	19,64 $\pm$ 1,05* 16,59–22,88
T_3 св., пмоль/л min-max	10,60 $\pm$ 1,02 8,41–14,12	10,39 $\pm$ 1,10 8,08–13,21	9,64 $\pm$ 0,85 8,19–12,87
ТТГ, мМЕ/л min-max	0,47 $\pm$ 0,04 0,36–0,55	0,48 $\pm$ 0,04 0,42–0,63	0,43 $\pm$ 0,02 0,36–0,55
ИТИ min-max	73,28 $\pm$ 8,49 55,27–98,44	68,72 $\pm$ 4,91 52,47–82,43	69,04 $\pm$ 7,64 55,47–82,43
ИПК min-max	2,18 $\pm$ 0,19 1,51–2,54	2,19 $\pm$ 0,24 1,58–2,84	2,07 $\pm$ 0,13 1,78–2,44

Примечание: * $p < 0,05$, ИТИ — интегральный тиреоидный индекс, ИПК — индекс периферической конверсии

¹ Чабаяев М.Г., Некрасов Р.В., Туаева Е.В. Влияние различных соединений и уровней хрома в рационах молодняка крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. 2025. №5. С. 41–44. Doi:10.33943/MMS.2025.82.56.008

² https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

³ <https://www.efis.ru/uslugi-laboratorii/integralnyy-tireoidnyy-indeks-iti-i-indeks-perifericheskoy-konversii-ipk>

наиболее высокие значения в контрольной группе (73,28 против 68,72-69,04) при значении ТТГ 0,47 против 0,43-0,48 мМЕ/л (данные не достоверны).

Биохимические показатели крови у исследуемых животных при скормливания органического хрома по холестерину, АСТ, АЛТ и креатинину не сильно отличались между контролем и опытными группами (таблица 2).

Показатели общего белка были максимальными в III группе животных при скормливания хрома в количестве 2,81 мг/гол в сутки. Разница по содержанию общего белка между группами составила около 1,5%.

Содержание в сыворотке крови у ремонтных телок альбумина и глобулина у исследуемых опытных групп по отношению к контрольной отличались следующим образом: во II группе показатель был выше на 5,0% и 3,7%, а в III группе — на 8,2% ($p < 0,05$) и 3,6% соответственно.

Заметные отличия при сравнении II и III опытных групп с контрольной были выявлены по таким показателям крови: общий билирубин выше на 17,5% и 12,3%, мочевины — на 16,0% и 18,3%, глюкозы — на 6,4% и 8,1% ($p < 0,05$).

По содержанию щелочной фосфатазы в группе ремонтного молодняка при скормливания хрома в количестве 3,75 мг/гол. в сутки наблюдалось незначительное увеличение содержания в крови (на 0,9%), по триглицеридам — на 35,7%. В то время как у животных III опытной группы по этим показателям было выявлено снижение на 15,8% и 11,2% по сравнению с контролем.

Стоит отметить, что показатели магния и железа у ремонтного молодняка при скормливания органического хрома в разном количестве привело к уменьшению содержания в обеих группах на 4,1% и 18,2%; 24,6% и 5,9%.

В ходе исследований был проведен анализ корреляционных связей между гормональными профилями и биохимическими показателями ремонтных телок в возрасте 6-9 месяцев при скормливания пропионата хрома разной концентрации (таблица 3).

У животных контрольной группы была выявлена высокая положительная корреляционная зависимость между креатинином и ТТГ ($r = 0,925$; $p < 0,05$) и между креатинином и ИПК ($r = 0,936$; $p < 0,05$) и высокая отрицательная связь между мочевиной и кортизолом ($r = -0,890$; $p < 0,05$) и креатинином и T_3 ($r = -0,890$; $p < 0,05$) (таблица 3).

У животных II опытной группы при скормливания пропионата хрома в дозе 3,75 мг/гол в сутки наблюдались статистически значимые корреляционные связи между альбумином и кортизолом ($r = 0,934$; $p < 0,05$) и между глюкозой и кортизолом ($r = 0,890$; $p < 0,05$), а также глюкозой и T_3 ($r = 0,890$; $p < 0,05$), между АСТ и ИТИ ($r = 0,895$; $p < 0,05$), кальцием и ТТГ ($r = 0,982$; $p < 0,05$) и железом и ИПК ($r = 0,952$; $p < 0,05$) (таблица 3). Отрицательная корреляция была выявлена между

Таблица 2. Показатели биохимии крови ремонтных телок ($n = 15$, $\bar{X} \pm Sx$)

Table 2. Blood biochemistry parameters of repair heifers ($n = 15$, $\bar{X} \pm Sx$)

Показатели	Группа		
	I группа (контроль)	II группа	III группа
Общий белок, г/л	64,34 $\pm$ 1,32	67,10 $\pm$ 2,42	68,10 $\pm$ 1,39*
Альбумин, г/л	31,46 $\pm$ 1,11	33,02 $\pm$ 0,63	34,04 $\pm$ 0,24*
Глобулин, г/л	32,88 $\pm$ 1,02	34,08 $\pm$ 0,08	34,06 $\pm$ 1,36
А/Г	0,96 $\pm$ 0,05	0,97 $\pm$ 0,08	1,00 $\pm$ 0,04
Холестерин, ммоль/л	2,48 $\pm$ 0,11	2,48 $\pm$ 0,29	2,58 $\pm$ 0,12
Билирубин общий, ммоль/л	0,57 $\pm$ 0,06	0,67 $\pm$ 0,17	0,64 $\pm$ 0,08
АЛТ, МЕ/л	28,60 $\pm$ 2,11	29,32 $\pm$ 1,21	29,42 $\pm$ 0,44
АСТ, МЕ/л	68,84 $\pm$ 6,32	68,84 $\pm$ 5,65	68,42 $\pm$ 3,85
Креатинин, мкмоль/л	105,48 $\pm$ 3,73	105,48 $\pm$ 3,84	106,05 $\pm$ 3,22
Мочевина, ммоль/л	5,36 $\pm$ 0,16	6,22 $\pm$ 0,34	6,34 $\pm$ 0,38
Глюкоза, ммоль/л	4,96 $\pm$ 0,11	5,28 $\pm$ 0,10	5,36 $\pm$ 0,14*
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	215,6 $\pm$ 29,52	217,6 $\pm$ 43,46	181,6 $\pm$ 23,43
Триглицериды, Ммоль/л	0,196 $\pm$ 0,03	0,266 $\pm$ 0,04	0,174 $\pm$ 0,03
Магний, ммоль/л	1,22 $\pm$ 0,04	1,17 $\pm$ 0,09	0,92 $\pm$ 0,02
Железо, ммоль/л	30,87 $\pm$ 3,87	25,26 $\pm$ 1,66	29,05 $\pm$ 0,91
Кальций, ммоль/л	2,49 $\pm$ 0,03	2,55 $\pm$ 0,03	2,56 $\pm$ 0,03
Фосфор, ммоль/л	3,16 $\pm$ 0,05	3,23 $\pm$ 0,04	3,23 $\pm$ 0,07

Примечание: * $p < 0,05$

Таблица 3. Корреляции биохимических и гормональных показателей крови

Table 3. Correlations of biochemical and hormonal blood parameters

	кортизол	ТТГ	T_3	ИТИ	ИПК
I группа (контроль)					
мочевина	-0,89*	-0,13	0,23	0,05	-0,50
креатинин	0,15	0,92*	-0,89*	-0,87	0,94*
II группа					
альбумин	0,93*	0,21	0,66	0,17	-0,61
глюкоза	0,89*	0,72	0,89*	-0,33	-0,92*
АСТ	-0,13	-0,83	-0,02	0,89*	0,05
кальций	0,45	0,98*	0,60	-0,79	-0,65
железо	-0,69	-0,42	-0,94*	-0,01	0,95*
III группа					
глюкоза	0,93*	-0,95*	0,91*	0,88	-0,87
кальций	-0,92*	0,84	-0,78	-0,74	0,76
железо	-0,49	0,75	-0,89*	-0,93*	0,43

Примечание: * $p < 0,05$, ИТИ — интегральный тиреоидный индекс, ИПК — индекс периферической конверсии

глюкозой и ИПК ($r = -0,921$; $p < 0,01$) и железом и T_3 ($r = -0,945$; $p < 0,05$).

В группе ремонтных телок III группы, которым к основному рациону добавляли 2,81 мг/гол в сутки пропионата хрома высокая положительная корреляционная связь была отмечена между глюкозой и кортизолом ($r = 0,931$; $p < 0,05$), между глюкозой и T_3 ($r = 0,915$; $p < 0,05$) (таблица 3). Статистически значимые отрицательные корреляционные связи у животных этой группы были выявлены между глюкозой и ТТГ ($r = -0,954$; $p < 0,05$), кальцием и кортизолом ($r = -0,924$; $p < 0,05$), железом и T_3 ($r = -0,891$; $p < 0,05$) и железом и ИТИ ($r = -0,932$; $p < 0,05$).

В то время как у животных контрольной группы не было выявлено корреляционной связи между кортизолом и глюкозой. Это можно объяснить тем, что скормливание органического хрома ремонтному молодняку значительно снижает уровень кортизола в сыворотке крови, хотя при этом содержание глюкозы у животных между группами отличается не сильно. Глюкоза жизненно важна для правильного функционирования метаболизма и иммунитета животных, так как она является основным метаболическим продуктом для многих иммунных клеток [31].

К основным функциям кортизола в организме относятся обеспечение иммунного ответа и реакция на стресс. Этот гормон имеет большое влияние на уровень сахара в крови, обмен веществ, воспалительные процессы [32].

Минеральные компоненты корма влияют на белковый, углеводный и жировой обмен, а также поддерживают защитные функции организма и участвуют в регуляции пищеварения [33–35]. Основная функция минералов заключается в переносе энергии жиров организмом для увеличения темпов роста [7]. Хром снижает перекисное окисление липидов, регулирует уровень холестерина и является основным компонентом фактора толерантности глюкозы.

С.В. Лебедев с коллегами (2021 г.) в исследованиях отмечали влияние хрома на телят, проявляющееся в увеличении концентрации глюкозы (на 10,6%, $p < 0,05$), триглицеридов (на 14,3%) [7]. Это свидетельствует о влиянии хрома на липидный обмен. В то же время в зависимости от возраста наблюдалось увеличение содержания холестерина и снижение триглицеридов.

Хром является важным элементом в организме животных, имеет решающее значение для поддержания нормальной регуляции углеводного и липидного обмена [28].

S.K. Moghadam с другими учеными (2020 г.) при скормливании телятам метилхрома не отметили влияния на концентрацию общего белка, альбумина, а содержание гормонов щитовидной железы было в пределах нормы [36].

Одной из функций хрома является участие его в метаболизме глюкозы. Было доказано воздействие этого микроэлемента на белковый обмен, у коров предотвращение кетоза и уменьшение отложения жира в тканях, положительное влияние на иммунную систему, а у телят отмечено положительное влияние добавок хрома на среднесуточный прирост массы тела [17]. Использование хрома в рационах кормления, способствует улучшению реакций животных на стрессовые ситуации [37–41].

У животных II и III опытных групп, в рацион которых был введен органический хром в разной дозе,

наблюдались положительные корреляционные связи между глюкозой и кортизолом и между глюкозой и T_3 . Кортизол является гормоном стресса, который вырабатывается в коре надпочечников и помогает организму справляться со стрессовыми ситуациями, при этом происходит увеличение уровня глюкозы в крови, обеспечивающей организм животных энергией. Имеются литературные данные, указывающие на то, что глюкоза, триглицериды и холестерин являются индикаторами стресса. Гормоны щитовидной железы оказывают влияния на содержание этих биохимических показателей в сыворотке крови [42].

Выводы/Conclusions

При скормливании органического хрома не было выявлено отрицательного влияния на биохимический и гормональный статус животных, поэтому используемые дозы в количестве 3,75 мг/гол. и 2,81 мг/гол. в сутки могут быть рекомендованы для кормления ремонтных телок. Оптимальной дозой скормливания пропионата хрома для крупного рогатого скота в возрасте 6–9 месяцев является 2,81 мг/гол. в сутки на протяжении не менее 3 месяцев.

Данное исследование является звеном в комплексном изучении влияния алиментарного фактора органической формы хрома на организм животных. В задачу исследований входило изучение гормонального статуса и биохимических показателей крови ремонтных телок при скормливании пропионата хрома в разной дозе, в том числе выявление оптимального количества хрома органической формы для молодняка в возрасте от 6 до 9 месяцев. Скормливание пропионата хрома в количестве 3,75 мг/гол. в сутки (II группа) и 2,81 мг/гол. в сутки (III группа) особых отличий между опытными группами по гормональному профилю и биохимическим показателям не выявило, поэтому эти дозы являются рекомендуемыми при выращивании ремонтного молодняка.

В крови исследуемых животных, которым в рацион добавляли хром в дозе 3,75 мг/гол. в сутки, отмечалось снижение концентрации кортизола. При изучении корреляционных связей между изучаемыми показателями выявлены различные тенденции в группах контроля и опыта, что указывает на влияние алиментарного фактора на биохимический и гормональный статус организма. Также была отмечена корреляционная связь в опытных группах между глюкозой и кортизолом и между глюкозой и T_3 . Необходимо дальнейшие исследования, направленные на использование хрома в рационах ремонтных телок, связанные с уточнением влияния данного микроэлемента на метаболизм глюкозы в предсочном возрасте.

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 при финансовой поддержке фундаментальных научных исследований Минобрнауки РФ № 121052600314-1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самохин В.Т. Профилактика нарушений обмена микроэлементов у животных. 2-е изд. Воронеж: Воронежский государственный университет. 2003. 136. ISBN 5-9273-0423-0 EDN RTXUUF
2. Кокорев В.А. и др. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных животных. *Зоотехния*. 2004; (7): 12–16. EDN HRRXLJ
3. Кокорев В.А., Гурьянов А.М., Гибалкина Н.И. Влияние хрома на энергию роста нетелей черно-пестрой породы. *Аграрный научный журнал*. 2020; (9): 58–60. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp58-60>
4. Цис Е.Ю., Дуборезов В.М., Рыков Р.А. Влияние различного уровня кормления на продуктивность и обмен веществ молочных коров. *Зоотехния*. 2023; (5): 2–4. EDN GXNXBF
5. Боголюбова Н.В. Некоторые аспекты антиоксидантной защиты в организме молодняка крупного рогатого скота. *Аграрная наука*. 2023; (5): 38–41. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-38-41>
6. Che D., Adams S., Wei C., Gui-Xin Q., Atiba E.M., Hailong J. Effects of Astragalus membranaceus fiber on growth performance, nutrient digestibility, microbial composition, VFA production, gut pH, and immunity of weaned pigs. *MicrobiologyOpen*. 2019; 8(5): e00712. <https://doi.org/10.1002/mbo3.712>
7. Lebedev S. et al. Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2021; 6(1): 14–31. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021002>
8. Шошина О.В., Лебедев С.В., Шейда Е.В., Корнейченко В.И. Сравнительный анализ влияния различных форм хрома на пищеварительные процессы в рубце телят. *Животноводство и кормопроизводство*. 2022; 105(1): 31–38. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-31>
9. Anderson G.J., Frazer D.M. Current understanding of iron homeostasis. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2017; 106(S6): 1559S–1566S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.155804>
10. Wodzanowski K.A., Cassel S.E., Grimes C.L., Kloxin A.M. Tools for probing host-bacteria interactions in the gut microenvironment: From molecular to cellular levels. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2020; 30(10): 127116. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2020.127116>
11. Шейда Е.В., Лебедев С.В., Мирошников С.А., Гречкина В.В., Левахин Г.И. Воздействие ультрадисперсных частиц Fe на биохимический статус организма и экзокринную деятельность поджелудочной железы на фоне скармливания белковых рационов при выращивании крупного рогатого скота. *Животноводство и кормопроизводство*. 2020; 103(3): 190–203. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-190>
12. Assis J.R. Chromium in performance and metabolism of dairy cows. *Scientific Electronic Archives*. 2021; 14(1): 100–107.
13. Chanda S., Paul B.N., Ghosh K., Giri S.S. Dietary essentiality of trace minerals in aquaculture-A Review. *Agricultural Reviews*. 2015; 36(2): 100–112. <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00012.4>
14. Фисинин В.И. и др. Влияние комбикормов со сниженным уровнем обменной энергии, лизина и метионина при использовании разных источников этих аминокислот на показатели неспецифического иммунитета, переваримость и использование основных питательных веществ и аминокислот мясными курами. *Птицеводство*. 2022; (10): 58–63. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-10-58-63>
15. Lashkari S., Habibian M., Jensen S.K. A Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition—Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence. *Biological Trace Element Research*. 2018; 186(2): 305–321. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1310-5>
16. Шейда Е.В., Лебедев С.В., Мирошников С.А., Гречкина В.В., Рязанов В.А., Шошина О.В. Изменение активности пищеварительных ферментов панкреатического сока под влиянием ультрадисперсных частиц Cr₂O₃ на фоне скармливания белковых рационов при выращивании крупного рогатого скота. *Животноводство и кормопроизводство*. 2020; 103(4): 26–36. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-4-26>

FUNDING

The reserch was carried out within the framework of a state assignment with the financial support of fundamental scientific research from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic 121052600314-1.

REFERENCES

1. Samokhin V.T. Prevention of micronutrient metabolism in animals. 2nd ed. Voronezh: Voronezh State University. 2003; 136 (in Russian). ISBN 5-9273-0423-0 EDN RTXUUF
2. Kokorev V.A. et al. Optimization of mineral feeding for farm animals. *Zootekhnika*. 2004; (7): 12–16 (in Russian). EDN HRRXLJ
3. Kokorev V.A., Guryanov A.M., Gibalkina N.I. Influence of chromium on the energy of growth of the Black-and-White heifers. *Agrarian Scientific Journal*. 2020; (9): 58–60 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp58-60>
4. Tsis E.Yu., Duborezov V.M., Rykov R.A. The effect of different feeding levels on the productivity and metabolism of dairy cows. *Zootekhnika*. 2023; (5): 2–4 (in Russian). EDN GXNXBF
5. Bogolyubova N.V. Some aspects of antioxidant protection in the body of young cattle. *Agrarian science*. 2023; (5): 38–41 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-38-41>
6. Che D., Adams S., Wei C., Gui-Xin Q., Atiba E.M., Hailong J. Effects of Astragalus membranaceus fiber on growth performance, nutrient digestibility, microbial composition, VFA production, gut pH, and immunity of weaned pigs. *MicrobiologyOpen*. 2019; 8(5): e00712. <https://doi.org/10.1002/mbo3.712>
7. Lebedev S. et al. Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2021; 6(1): 14–31. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021002>
8. Shoshina O.V., Lebedev S.V., Sheyda E.V., Korneychenko V.I. Comparative analysis of the effect of different chromium forms on digestive processes in the rumen of calves. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021; 105(1): 31–38 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-31>
9. Anderson G.J., Frazer D.M. Current understanding of iron homeostasis. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2017; 106(S6): 1559S–1566S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.155804>
10. Wodzanowski K.A., Cassel S.E., Grimes C.L., Kloxin A.M. Tools for probing host-bacteria interactions in the gut microenvironment: From molecular to cellular levels. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2020; 30(10): 127116. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2020.127116>
11. Sheyda E.V., Lebedev S.V., Miroshnikov S.A., Grechkina V.V., Levakhin G.I. Influence of ultrafine Fe on biochemical status of organism and exocrine activity of pancreas against the background of feeding with protein diets in raising cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020; 103(3): 190–203 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-190>
12. Assis J.R. Chromium in performance and metabolism of dairy cows. *Scientific Electronic Archives*. 2021; 14(1): 100–107.
13. Chanda S., Paul B.N., Ghosh K., Giri S.S. Dietary essentiality of trace minerals in aquaculture-A Review. *Agricultural Reviews*. 2015; 36(2): 100–112. <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00012.4>
14. Fisinin V.I. et al. The effects of diets with keduced levels of energy, lysine, and methionine and different dietary forms of these amino acids on non-specific immunity, natural resistibility, and nutrient digestibility in broiler breeder hens. *Pitsevodstvo*. 2022; (10): 58–63 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-10-58-63>
15. Lashkari S., Habibian M., Jensen S.K. A Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition—Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence. *Biological Trace Element Research*. 2018; 186(2): 305–321. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1310-5>
16. Sheyda E.V., Lebedev S.V., Miroshnikov S.A., Grechkina V.V., Ryzanov V.A., Shoshina O.V. Changes in the activity of digestive enzymes of pancreatic juice under the influence of ultrafine particles of Cr₂O₃ against the background of feeding with protein diets raising cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020; 103(4): 26–36 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-4-26>

17. Glombowsky P. *et al.* Chromium in the Diet of Dairy Calves: Benefits for Growth Performance, Feed Efficiency, Digestibility, and Health. *Biological Trace Element Research*. 2024; 202(11): 5036–5050.
<https://doi.org/10.1007/s12011-024-04063-1>
18. Stoecker B.J. Chromium absorption, safety, and toxicity. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*. 1999; 12(2): 163–169.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-670X\(1999\)12:2<163::AID-JTRA13>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-670X(1999)12:2<163::AID-JTRA13>3.0.CO;2-3)
19. Havel P.J. A scientific review: the role of chromium in insulin resistance. *The Diabetes educator*. 2004; (S): 2–14
20. Soltan M.A. Effect of dietary chromium supplementation on productive and reproductive performance of early lactating dairy cows under heat stress. *Journal of animal Physiology and Animal Nutrition*. 2010; 94(2): 264–272.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00913.x>
21. Yari M., Nikkhah A., Alikhani M., Khorvash M., Rahmani H., Ghorbani G.R. Physiological calf responses to increased chromium supply in summer. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(9): 4111–4120.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2568>
22. Kafizadeh F., Shabankareh H.K., Targhibi M.R. Effect of Chromium Supplementation on Productive and Reproductive Performances and Some Metabolic Parameters in Late Gestation and Early Lactation of Dairy Cows. *Biological Trace Element Research*. 2012; 149(1): 42–49.
<https://doi.org/10.1007/s12011-012-9390-0>
23. Sadri H., Rahmani H.R., Khorvash M., Ghorbani G.R., Bruckmaier R.M. Chromium supplementation and substitution of barley grain with corn: effects on metabolite and hormonal responses in periparturient dairy cows. *Journal of animal Physiology and Animal Nutrition*. 2012; 96(2): 220–227.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01141.x>
24. Kumar M., Kaur H., Deka R.S., Mani V., Tyagi A.K., Chandra G. Dietary Inorganic Chromium in Summer-Exposed Buffalo Calves (*Bubalus bubalis*): Effects on Biomarkers of Heat Stress, Immune Status, and Endocrine Variables. *Biological Trace Element Research*. 2015; 167(1): 18–27.
<https://doi.org/10.1007/s12011-015-0272-0>
25. Bin-Jumah M. *et al.* Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Science of the Total Environment*. 2020; 707: 135996.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135996>
26. Shan Q., Ma F.T., Jin Y.H., Gao D., Li H.Y., Sun P. Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2020; 269: 114635.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114635>
27. Sousa I.K.F. *et al.* Influence of organic chromium supplementation on the performance of beef calves undergoing weaning-related stress. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2020; 40(2): 97–101.
<https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-6355>
28. Janampet R.S., Amaravathi S.C., Venkata R.D.B., Thirunahari R., Manthani G.P., Malisetty V. Effect of Dietary Chromium, Vitamin E and Selenium Supplementation on Growth Performance and Cost Economics of Holstein Friesian Calves Under Heat Stress. *Journal of Animal Research*. 2021; 11(3): 387–392.
29. Spittler A.P. *et al.* Age- and sex-associated differences in hematology and biochemistry parameters of Dunkin Hartley guinea pigs (*Cavia porcellus*). *PLOS One*. 2021; 16(7): e0253794.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253794>
30. Pasciu V., Molina-López A.M., Baralla E. Editorial: Biochemical and endocrinological parameters in animals matrices. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 1124569.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1124569>
31. Abuelo A., Hernández J., Benedito J.L., Castillo C. Redox Biology in Transition Periods of Dairy Cattle: Role in the Health of Periparturient and Neonatal Animals. *Antioxidants*. 2019; 8(1): 20.
<https://doi.org/10.3390/antiox8010020>
32. Новгородова И.П. Методы определения концентрации кортизола у животных. *Аграрная наука*. 2024; (4): 35–43.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43>
33. Keshri A. *et al.* Impact of different chromium sources on physiological responses, blood biochemicals and endocrine status of heat stress in dairy calves. *Biological Rhythm Research*. 2022; 53(1): 58–69.
<https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1628390>
34. Wysocka D., Snarska A., Sobiech P. Copper-an essential micronutrient for calves and adult cattle. *Journal of Elementology*. 2019; 24(1): 101–110.
<https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.2.1645>
35. Malik M.I., Jonker A., Raboisson D., Song B., Rashid M.A., Sun X. Effects of dietary chromium supplementation on blood biochemical parameters in dairy cows: A multilevel meta-analytical approach. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(1): 301–316.
<https://doi.org/10.3168/jds.2023-23545>
17. Glombowsky P. *et al.* Chromium in the Diet of Dairy Calves: Benefits for Growth Performance, Feed Efficiency, Digestibility, and Health. *Biological Trace Element Research*. 2024; 202(11): 5036–5050.
<https://doi.org/10.1007/s12011-024-04063-1>
18. Stoecker B.J. Chromium absorption, safety, and toxicity. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*. 1999; 12(2): 163–169.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-670X\(1999\)12:2<163::AID-JTRA13>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-670X(1999)12:2<163::AID-JTRA13>3.0.CO;2-3)
19. Havel P.J. A scientific review: the role of chromium in insulin resistance. *The Diabetes educator*. 2004; (S): 2–14
20. Soltan M.A. Effect of dietary chromium supplementation on productive and reproductive performance of early lactating dairy cows under heat stress. *Journal of animal Physiology and Animal Nutrition*. 2010; 94(2): 264–272.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00913.x>
21. Yari M., Nikkhah A., Alikhani M., Khorvash M., Rahmani H., Ghorbani G.R. Physiological calf responses to increased chromium supply in summer. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(9): 4111–4120.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2568>
22. Kafizadeh F., Shabankareh H.K., Targhibi M.R. Effect of Chromium Supplementation on Productive and Reproductive Performances and Some Metabolic Parameters in Late Gestation and Early Lactation of Dairy Cows. *Biological Trace Element Research*. 2012; 149(1): 42–49.
<https://doi.org/10.1007/s12011-012-9390-0>
23. Sadri H., Rahmani H.R., Khorvash M., Ghorbani G.R., Bruckmaier R.M. Chromium supplementation and substitution of barley grain with corn: effects on metabolite and hormonal responses in periparturient dairy cows. *Journal of animal Physiology and Animal Nutrition*. 2012; 96(2): 220–227.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01141.x>
24. Kumar M., Kaur H., Deka R.S., Mani V., Tyagi A.K., Chandra G. Dietary Inorganic Chromium in Summer-Exposed Buffalo Calves (*Bubalus bubalis*): Effects on Biomarkers of Heat Stress, Immune Status, and Endocrine Variables. *Biological Trace Element Research*. 2015; 167(1): 18–27.
<https://doi.org/10.1007/s12011-015-0272-0>
25. Bin-Jumah M. *et al.* Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Science of the Total Environment*. 2020; 707: 135996.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135996>
26. Shan Q., Ma F.T., Jin Y.H., Gao D., Li H.Y., Sun P. Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 2020; 269: 114635.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114635>
27. Sousa I.K.F. *et al.* Influence of organic chromium supplementation on the performance of beef calves undergoing weaning-related stress. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2020; 40(2): 97–101.
<https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-6355>
28. Janampet R.S., Amaravathi S.C., Venkata R.D.B., Thirunahari R., Manthani G.P., Malisetty V. Effect of Dietary Chromium, Vitamin E and Selenium Supplementation on Growth Performance and Cost Economics of Holstein Friesian Calves Under Heat Stress. *Journal of Animal Research*. 2021; 11(3): 387–392.
29. Spittler A.P. *et al.* Age- and sex-associated differences in hematology and biochemistry parameters of Dunkin Hartley guinea pigs (*Cavia porcellus*). *PLOS One*. 2021; 16(7): e0253794.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253794>
30. Pasciu V., Molina-López A.M., Baralla E. Editorial: Biochemical and endocrinological parameters in animals matrices. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 1124569.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1124569>
31. Abuelo A., Hernández J., Benedito J.L., Castillo C. Redox Biology in Transition Periods of Dairy Cattle: Role in the Health of Periparturient and Neonatal Animals. *Antioxidants*. 2019; 8(1): 20.
<https://doi.org/10.3390/antiox8010020>
32. Novgorodova I.P. Methods for determining cortisol concentrations in animals. *Agrarian science*. 2024; (4): 35–43 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43>
33. Keshri A. *et al.* Impact of different chromium sources on physiological responses, blood biochemicals and endocrine status of heat stress in dairy calves. *Biological Rhythm Research*. 2022; 53(1): 58–69.
<https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1628390>
34. Wysocka D., Snarska A., Sobiech P. Copper-an essential micronutrient for calves and adult cattle. *Journal of Elementology*. 2019; 24(1): 101–110.
<https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.2.1645>
35. Malik M.I., Jonker A., Raboisson D., Song B., Rashid M.A., Sun X. Effects of dietary chromium supplementation on blood biochemical parameters in dairy cows: A multilevel meta-analytical approach. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107(1): 301–316.
<https://doi.org/10.3168/jds.2023-23545>

36. Moghadam S.K., Hajimohammadi A., Nazifi S., Razavi S.A., Rowshan-Ghasrodashti A. Effects of Probiotic and Chromium-Methionine on Thyroid Hormones, Total Protein, Zinc, and Weight Gain in Dairy Holstein Calves During the Weaning Period. *Iranian Journal of Veterinary Medicine*. 2020; 14(2): 177–188.
37. Habibi Z., Karimi-Dehkordi S., Kargar S., Sadeghi M. Grain source and chromium supplementation: Effects on health, metabolic status, and glucose-insulin kinetics in Holstein heifer calves. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(10): 8941–8951. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16619>
38. Kargar S., Mousavi F., Karimi-Dehkordi S. Effects of chromium supplementation on weight gain, feeding behaviour, health and metabolic criteria of environmentally heat-loaded Holstein dairy calves from birth to weaning. *Archives of Animal Nutrition*. 2018; 72(6): 443–457. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1510157>
39. Mousavi F., Karimi-Dehkordi S., Kargar S., Ghaffari M.H. Effect of chromium supplementation on growth performance, meal pattern, metabolic and antioxidant status and insulin sensitivity of summer-exposed weaned dairy calves. *Animal*. 2019; 13(5): 968–974. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002318>
40. Amini M.R., Sheikhsossein F., Djafari F., Jafari A., Djafarian K., Shab-Bidar S. Effects of chromium supplementation on oxidative stress biomarkers. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2023; 93(3): 241–251. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000706>
41. Morvaridzadeh M. et al. The effect of chromium intake on oxidative stress parameters: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2022; 69: 126879. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126879>
42. Eshratkhah B., Nahand M.R.S., Rasoul S.P., Taj S.M.R.S., Rad H.J. Relationship between plasma thyroid hormones and some biochemical parameters in Iranian Sarabi calves. *Comparative Clinical Pathology*. 2012; 21(2): 167–171. <https://doi.org/10.1007/s00580-010-1079-1>

ОБ АВТОРАХ

Инна Петровна Новгородова¹

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
novg-inna2005@yandex.ru
<https://orchid.org/0000-0002-4617-1644>

Магомед Газиевич Чабаяев¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник
chabaev.m.g-1@mail.ru
<https://orchid.org/0000-0003-1889-6063>

Роман Владимирович Некрасов²

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор
nek_roman@mail.ru.
<https://orchid.org/0000-0003-4242-2239>

Надежда Владимировна Боголюбова¹

доктор биол. наук, главный научный сотрудник
652202@mail.ru
<https://orchid.org/0000-0002-0520-7022>

¹Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», п. Дубровицы д. 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных — филиал ФНЦ им. Л.К. Эрнста, пос. Институт, Боровск, Калужская обл., 249010, Россия

36. Moghadam S.K., Hajimohammadi A., Nazifi S., Razavi S.A., Rowshan-Ghasrodashti A. Effects of Probiotic and Chromium-Methionine on Thyroid Hormones, Total Protein, Zinc, and Weight Gain in Dairy Holstein Calves During the Weaning Period. *Iranian Journal of Veterinary Medicine*. 2020; 14(2): 177–188.

37. Habibi Z., Karimi-Dehkordi S., Kargar S., Sadeghi M. Grain source and chromium supplementation: Effects on health, metabolic status, and glucose-insulin kinetics in Holstein heifer calves. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(10): 8941–8951. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16619>

38. Kargar S., Mousavi F., Karimi-Dehkordi S. Effects of chromium supplementation on weight gain, feeding behaviour, health and metabolic criteria of environmentally heat-loaded Holstein dairy calves from birth to weaning. *Archives of Animal Nutrition*. 2018; 72(6): 443–457. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1510157>

39. Mousavi F., Karimi-Dehkordi S., Kargar S., Ghaffari M.H. Effect of chromium supplementation on growth performance, meal pattern, metabolic and antioxidant status and insulin sensitivity of summer-exposed weaned dairy calves. *Animal*. 2019; 13(5): 968–974. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002318>

40. Amini M.R., Sheikhsossein F., Djafari F., Jafari A., Djafarian K., Shab-Bidar S. Effects of chromium supplementation on oxidative stress biomarkers. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2023; 93(3): 241–251. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000706>

41. Morvaridzadeh M. et al. The effect of chromium intake on oxidative stress parameters: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2022; 69: 126879. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126879>

42. Eshratkhah B., Nahand M.R.S., Rasoul S.P., Taj S.M.R.S., Rad H.J. Relationship between plasma thyroid hormones and some biochemical parameters in Iranian Sarabi calves. *Comparative Clinical Pathology*. 2012; 21(2): 167–171. <https://doi.org/10.1007/s00580-010-1079-1>

ABOUT THE AUTHORS

Inna Petrovna Novgorodova¹

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
novg-inna2005@yandex.ru
<https://orchid.org/0000-0002-4617-1644>

Magomed Gazievich Chabaev¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher
chabaev.m.g-1@mail.ru
<https://orchid.org/0000-0003-1889-6063>

Roman Vladimirovich Nekrasov²

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Director
nek_roman@mail.ru.
<https://orchid.org/0000-0003-4242-2239>

Nadezhda Vladimirovna Bogolyubova¹

doctor of biological sciences, leading researcher
652202@mail.ru
<https://orchid.org/0000-0002-0520-7022>

¹L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian

²All-Russia Research Institute of Animal Physiology, Biochemistry, and Nutrition — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249010, Russia

УДК 636.1:636.082:591.463

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-95-102

А.Х. Абдурасулов¹ ✉Б.И. Токтосунов²А.М. Исакунов³¹Ошский государственный университет, Ош, Кыргызстан²Институт биотехнологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан³Служба ветеринарии, развития животноводства, пастбищ и кормов при Министерстве водных ресурсов, сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан

✉ aabdurasulov@oshsu.kg

Поступила в редакцию: 20.01.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Абдурасулов А. Х., Токтосунов Б.И., Исакунов А.М.

Оценка качества спермы жеребцов-производителей русской рысистой породы

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Развитие коневодства в Кыргызстане требует объективной оценки репродуктивного потенциала жеребцов-производителей. Применение автоматизированного анализа спермы повышает эффективность племенного отбора и искусственного осеменения.

Методика. Исследование проведено на базе племенной фермы «Риал» (Чуйская область, Кыргызстан). Объект исследования — три жеребца русской рысистой породы: Ландыш (19 лет), Аргамак (16 лет) и Альянс (16 лет). Качество эякулятов оценивали визуально, с помощью микроскопии и на автоматическом анализаторе спермы SQV-V (Израиль) в лаборатории «Интелмед» (Бишкек). Изучали объём, цвет, pH, концентрацию, подвижность, морфологию сперматозоидов, а также динамику подвижности при хранении (1, 3 и 6 часов при 37 °C).

Результаты. Объём эякулята варьировал от 30,8 до 76,0 мл, концентрация — 0,298–0,500 млрд/мл. Доля живых сперматозоидов через 1 час составляла 60–75%, патологических форм — 8–24%. Через 3 часа хранения подвижность снизилась на 5–7%, через 6 часов — на 12–14%. Наибольшее снижение (14%) отмечено у жеребца Альянс. Индекс Фарриса (2170–9100) превышал минимально допустимый уровень для криоконсервации. Сперма всех трех жеребцов пригодна для искусственного осеменения и криоконсервации. Высокие значения индекса Фарриса и приемлемый уровень патологических форм позволяют рекомендовать исследованных производителей для формирования криобанка генетических ресурсов.

Ключевые слова: жеребцы-производители, сперма, качество, объём, цвет, кинезиограмма, дифференциальная спермограмма

Для цитирования: Абдурасулов А.Х., Токтосунов Б.И., Исакунов А.М. Оценка качества спермы жеребцов-производителей русской рысистой породы. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 95–102.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-95-102>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-95-102

Abdugani H. Abdurasulov¹ ✉Bolot I. Toktosunov²Aman M. Isakunov³¹Osh State University, Osh, Kyrgyzstan²Institute of Biotechnology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan³Veterinary, Livestock, Pasture and Forage Development Service under the Ministry of Water Resources, Agriculture and Processing Industry of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan

✉ aabdurasulov@oshsu.kg

Received by the editorial office: 20.01.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Abdurasulov A.Kh., Toktosunov B.I., Isakunov A.M.

Assessment of semen quality of breeding stallions of the Russian trotter breed

ABSTRACT

Relevance. The development of horse breeding in Kyrgyzstan requires objective methods for assessing the reproductive potential of stallions. Automated sperm analysis enhances the efficiency of breeding selection and artificial insemination.

Methods. The study was conducted at the “Rial” stud farm (Chuy Region, Kyrgyzstan). Three Russian trotter stallions were examined: Landysh (19 years), Argamak (16 years), and Alyans (16 years). Ejaculate quality was assessed visually, by microscopy, and using an SQV-V automated sperm analyzer (Israel) at the Intelmed laboratory (Bishkek). Volume, color, pH, concentration, motility, morphology, and motility dynamics during storage (1, 3, and 6 hours at 37 °C) were evaluated.

Results. Ejaculate volume ranged from 30.8 to 76.0 mL, concentration — 0.298–0.500 billion/mL. The proportion of live spermatozoa after 1 hour was 60–75%, and abnormal forms — 8–24%. After 3 hours of storage, motility decreased by 5–7%, after 6 hours — by 12–14%. The greatest decrease (14% by the 6th hour) was recorded in stallion Alyans. The Farris index (2170–9100) exceeded the minimum acceptable threshold for cryopreservation. Semen from all three stallions is suitable for artificial insemination and cryopreservation. The high Farris index and acceptable level of abnormal sperm forms support the recommendation of these sires for a genetic resource cryobank.

Key words: stallions-producers, sperm, quality, volume, color, kinesigram, differential spermogram

For citation: Abdurasulov A.Kh., Toktosunov B.I., Isakunov A.M. Assessment of semen quality of breeding stallions of the Russian trotter breed. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 95–102 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-95-102>

Введение/Introduction

Коневодство Кыргызской Республики является одной из древнейших и традиционных отраслей животноводства. Наличие обширных пастбищных угодий и относительно несложная технология выращивания лошадей при табунном содержании обуславливают его устойчивое развитие. Исторически коневодство в Кыргызстане занимало ведущее место среди других отраслей и сохраняет свое значение в современных условиях [1].

В настоящее время отрасль характеризуется многосторонним хозяйственным использованием [2]. Лошадь применяется как универсальное животное: для транспорта в горных условиях при круглогодичном выпасе, при пастбе скота, в условиях бездорожья; как источник мяса и молока; а также в спортивных дисциплинах, национальных конных играх и туристической деятельности [3–5].

Одним из приоритетных направлений, как по численности поголовья, так и по стоимости продукции, остается рабоче-пользовательное коневодство. Лошади широко используются в качестве живой тягловой силы в государственных, коллективных, фермерских и личных подсобных хозяйствах [6, 7].

С развитием сельскохозяйственного производства требования к качеству лошадей значительно возросли [8, 9]. К числу основных требований относятся высокая работоспособность, выносливость и подвижность при выполнении работ с повышенной нагрузкой. Решение данных задач требует внедрения современных технологий, в том числе в области биотехнологии воспроизводства конепоголовья. Одним из перспективных направлений является разработка и внедрение метода искусственного осеменения при конюшенном и конюшенно-пастбищном содержании лошадей [10–13].

В настоящее время в развитых странах доля приплода, полученного с использованием искусственного осеменения, превышает количество жеребят, зачатых при естественной случке. В Кыргызской Республике данный метод в коневодстве применяется крайне ограниченно, однако имеются значительные перспективы его развития. При использовании искусственного осеменения ключевую роль играет воспроизводительная способность жеребцов-производителей, определяемая, прежде всего, качеством продуцируемой спермы. Современная наука располагает значительным объемом данных о методах оценки качества спермопродукции и влиянии различных факторов на ее показатели [10, 14].

Существуют научные данные, касающиеся оценки качества спермы жеребцов-производителей. Так, исследователи отмечают, что при концентрации глутатионпероксидазы в спермоплазме выше 1,01 нг/мл жеребцов следует относить к группе с высоким качеством спермы, тогда как при концентрации ниже данного уровня — к группе с низким качеством. Предложенный метод позволяет

оценивать качество спермы жеребцов на основе биохимических показателей без непосредственного анализа морфологических и физиологических параметров сперматозоидов [15].

О влиянии генетических факторов на воспроизводительные качества жеребцов-производителей указывают и другие исследователи. Отмечается, что одной из причин снижения качества спермы является оксидативный стресс, приводящий к повреждению белков, липидов и ДНК сперматозоидов, что, в свою очередь, вызывает ухудшение имплантации эмбриона и снижение частоты наступления беременности. Анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что биохимические маркеры, включая концентрацию метаболитов семенной плазмы, активность ферментов и показатели оксидативного стресса, обладают значительным потенциалом для комплексной оценки качества спермы жеребцов [16–20].

Породная принадлежность лошадей также определяет специфические особенности спермопродукции, что подтверждается исследованиями Храбровой Л.А. и других российских ученых. Ими проведена оценка спермопродукции 141 жеребца, протестированного по системам групп крови A, C, D и K, включающим 13 эритроцитарных антигенов (Aa, Ad, Ca, Da, Db, Dc, Dd, De, Dg, Dh, Dk, Dm и Ka). Относительно высоким качеством криоконсервированной спермы отличались жеребцы верховых пород с наличием антигенов Dc, Dg и Dm, орловские рысаки с Ca, K-, Dg и Dk, а также представители призовых и тяжелых упряжных пород с антигеном Dd. Полученные результаты свидетельствуют о формировании в породах различных направлений специфических генных комплексов и их ассоциаций с продуктивными признаками, что необходимо учитывать при разработке методологии научных исследований [21].

Исследователи отмечают, что одним из ключевых факторов, влияющих на воспроизводительную функцию, является генотип животного. Метод геномной селекции основан на использовании полиморфных однонуклеотидных замен (SNP) в качестве маркеров для оценки генетической ценности животных. Формирование и функционирование репродуктивной системы обусловлено согласованным взаимодействием широкого спектра генов. Поиск геномных ассоциаций методом GWAS (Genome-Wide Association Studies) с признаками фертильности позволит в дальнейшем осуществлять отбор животных по данным показателям на геномном уровне. В указанных исследованиях сперму получали с использованием кобыл в охоте и фантома с применением искусственной вагины Hannover (Minitüb GmbH, Германия). От каждого жеребца сперму собирали не менее трех раз. Было проанализировано качество спермы 96 жеребцов различных пород (арабская, ахалтекинская, траккененская, чистокровная верховая, орловская рысистая, французская рысистая,

советская тяжеловозная, шетлендский и уэльский пони, а также помеси различных пород), при этом установлена высокая изменчивость показателей качества спермы [19, 21, 22].

Для успешного проведения случной компании в коневодстве первостепенное значение имеет комплексное обследование жеребцов-производителей. Оцениваются их оплодотворяющая способность, состояние половых органов, способность к случке и качество спермы. Воспроизводительная ценность жеребца характеризуется количеством оплодотворенных кобыл и числом полученных от него жеребят за предыдущие годы [15].

Целью работы являлась комплексная оценка качественных и морфофункциональных показателей спермопродукции жеребцов русской рысистой породы для определения ее пригодности к использованию в искусственном осеменении и криоконсервации.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в Московском районе Чуйской области Кыргызстана, на базе племенной конфермы «Риал».

Объектом исследования послужили жеребцы-производители рысистой породы (рис.1–3): Ландыш (2007 г. р.), Аргамак (2010 г. р.), Альянс (2010 г. р.).

Клиническое состояние репродуктивных органов животных на момент проведения опытов оценивалось как удовлетворительное.

Отбор спермы осуществлялся искусственной вагиной для жеребцов модели ВИЖ-9 (Россия) согласно рекомендациям¹ и ГОСТ 20909.1²,

регламентирующему правила взятия спермы у производителей. Для анализа использовали третий эякулят каждого жеребца.

Комплексная оценка качественных показателей проводилась в соответствии с ГОСТ 27777-88³. Визуальная оценка и определение концентрации осуществлялись с помощью светового микроскопа Микмед-6 (ЛОМО, Россия). Углубленное изучение параметров спермограммы (подвижность, морфология, концентрация) выполнялось методом компьютерного анализа на автоматическом спермоанализаторе SQV-V (Medical Electronic Systems, Израиль) в условиях специализированной лаборатории Бонечного (ОсОО «Интелмед», Бишкек, Кыргызстан).

Рис. 2. Жеребец Аргамак, фото представлено Б.И. Токтосуновым

Fig. 2. Stallion Argamak, photo courtesy of B.I. Toktosunov



Рис. 1. Жеребец Ландыш, фото представлено Б.И. Токтосуновым

Fig. 1. Stallion Landysh, photo courtesy of B.I. Toktosunov



Рис. 3. Жеребец Альянс, фото представлено Б.И. Токтосуновым

Fig. 3. Stallion Alyans, photo courtesy of B.I. Toktosunov



¹ Рекомендации по взятию, разбавлению и замораживанию спермы жеребцов. Дивово: ГНУ ВНИИ коневодства Россельхозакадемии, 2006

² ГОСТ 20909.1-75 Сперма быков неразбавленная. Метод отбора проб

³ ГОСТ 27777-88 Сперма быков замороженная. Методы биологических исследований

Статистическая обработка полученных данных проводилась методом вариационной статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2019. Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента, при этом результаты считались статистически значимыми при уровне вероятности $P < 0,05$.

Этические нормы по обращению с животными соблюдены⁴.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Современные репродуктивные технологии позволяют использовать сперму жеребцов-производителей спустя определенный промежуток времени после ее получения, что создает возможности для формирования поголовья с высокими племенными и хозяйственно-полезными качествами. Однако перед применением биоматериала необходимо всесторонне исследовать его основные параметры. В ветеринарной репродуктивной практике анализаторы спермы жеребцов используются для оценки качественного и количественного состава эякулята, а также его оплодотворяющей способности [15].

Исследуемые жеребцы-производители имеют общее происхождение и относятся к русской рысистой породе лошадей. Все животные находились в одинаковых условиях конюшенного содержания и кормления. Рацион включал: сено люцерны — 8–12 кг, морковь — 3–5 кг, ячменную дерть — 5 кг и пшеничные отруби — 2 кг; ежедневный моцион составлял не менее 2 часов.

В ходе лабораторных исследований спермопродукции были получены следующие результаты.

Представленные в таблице 1 данные свидетельствуют о том, что у физиологически зрелого жеребца-производителя Ландыша объем эякулята был в 2 и более раза выше по сравнению с другими животными, при этом показатели подвижности и концентрации отличались минимально. По другим макроскопическим признакам у всех трех жеребцов при визуальной оценке сперма имела молочно-белый цвет с сероватым оттенком, водянистую консистенцию, запах цветка каштана, без посторонних примесей, что соответствует физиологической норме и свидетельствует об отсутствии патологических отклонений.

Физико-химические свойства спермы. Поскольку клинично-лабораторная оценка биоматериала носит в определенной степени субъективный характер, для получения более детальной и объективной характеристики дополнительно была выполнена спермограмма с использованием автоматического спермоанализатора и специализированного программного обеспечения. Для этого

Таблица 1. Качественные показатели спермопродукции подопытных жеребцов

Table 1. Qualitative characteristics of stallion semen

Кличка жеребцов	Возраст, лет	Средние показатели		
		объем, $M \pm m$, мл.	подвижность, $M \pm m$, баллы	концентрация, $M \pm m$, млрд/мл.
Ландыш	7	$76,0 \pm 1,80^5$	$6,9 \pm 0,13$	$0,340 \pm 0,006$
Аргамак	4	$30,8 \pm 1,65$	$7,1 \pm 0,12$	$0,330 \pm 0,008$
Альянс	4	$35,6 \pm 1,69$	$7,0 \pm 0,06$	$0,450 \pm 0,015$
В среднем	–	$47,5 \pm 1,71$	$7,0 \pm 0,10$	$0,370 \pm 0,01$

Таблица 2. Физико-химические свойства спермограммы

Table 2. Physicochemical properties of semen

Показатели	Ед. изм.	Качество спермы от жеребцов		
		Ландыш	Аргамак	Альянс
Количество	мл	31.0	13.0	26.0
Цвет		серовато-белый		
Мутность		мутная		
Время разжижения	мин	15	15	20
Вязкость	см	0.1	0.1	0.1
Запах		специфический		
Ph	ед.	7.0	7.0	7.2
Число сперматозоидов в 1 мл	млрд/мл	0,320	0,298	0,500
Общее количество сперматозоидов	млрд/мл	9.920	3.874	13.000
Количество живых сперматозоидов	%	60	66	75
Количество мертвых сперматозоидов	%	40	34	25

от каждого жеребца был отобран один эякулят, направленный для анализа в специализированную лабораторию Бонецкого ООС «Интелмед» (г. Бишкек). Получены следующие результаты. В таблице 1 представлены средние показатели за три эякулята, а в таблице 2 — результаты исследования одного из них, направленного в лабораторию для углубленного анализа.

Согласно данным таблицы 2, сперма жеребца Ландыша характеризовалась наибольшим объемом (31,0 мл) при среднем уровне концентрации (0,320 млрд/мл) и наименьшем проценте живых сперматозоидов (60%). Физико-химические свойства спермы всех трех жеребцов — объем, цвет, мутность, время разжижения, вязкость, запах, реакция среды (pH), концентрация, а также соотношение живых и мертвых сперматозоидов — находились в пределах допустимых норм, рекомендованных в нормативных документах⁶.

Кинезиограмма спермы. Кинезиограмма представляет собой процентное соотношение сперматозоидов с различной степенью подвижности. Количество подвижных сперматозоидов является одним из основных критериев оценки их биологической полноценности. В норме доля

⁴ Этические нормы обращения с животными в Кыргызстане закреплены на основании: Закона о животном мире (охрана дикой фауны); Кодекса о правонарушениях (административные штрафы за жестокость и нарушение ветеринарных правил); Академической биоэтики (развитие этических принципов в образовании и науке).

⁵ табл. 1 — среднее за три эякулята, табл. 2 — результат одного эякулята (дополнительного).

⁶ Рекомендации по взятию, разбавлению и замораживанию спермы жеребцов. Дивово : Изд. ВНИИК, 2006; 22 с.

сперматозоидов с поступательными движениями со скоростью около 50 мкм/с составляет 80–90%, с ослабленной подвижностью — 10–12%, неподвижных — 6–10%⁷. Наличие колебательных движений (дискиноспермия) в норме не отмечается.

Анализ кинезиограммы проводился через 1 час после получения спермы, что соответствовало времени транспортировки материала в лабораторию Бонецкого и допустимо методическими рекомендациями. Данный показатель характеризует выживаемость сперматозоидов вне организма. В период исследования сперма хранилась в термостате при температуре 37 °С без добавления реактивов.

Согласно графическим данным, через 1, 3 и 6 часов после взятия спермы отмечалось постепенное снижение выживаемости сперматозоидов и уменьшение доли подвижных форм. В биоматериале жеребца Ландыша через 3 часа подвижность снизилась на 6%, через 6 часов — на 12%; жеребца Аргамак — на 5% и 12% соответственно; жеребца Альянс — на 7% и 14% соответственно. У всех жеребцов в течение первого часа выживаемость спермы оставалась стабильной, через 3 часа снижение составляло 5–7%, а через 6 часов — 12–14%. Полученные показатели свидетельствуют о высокой жизнеспособности сперматозоидов и благоприятно влияют на оплодотворяющую способность.

Дифференциальная спермограмма. Дифференциальная спермограмма представляет собой морфологическую оценку сперматозоидов. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Согласно данным дифференциальной спермограммы, у всех трех жеребцов соотношение нормальных и патологических форм сперматозоидов (76/24; 92/8; 80/20) соответствует допустимым нормам для использования спермы в искусственном осеменении, при которых доля патологических форм не превышает 25% [23]. Повышение данного показателя приводит к снижению оплодотворяющей способности.

Лейкоциты у всех животных либо отсутствовали, либо выявлялись в единичных количествах, что свидетельствует об отсутствии воспалительных процессов в придаточных половых железах. Эритроциты не обнаружены. Эпителий и лецитиновые зерна находились в пределах нормы. Агглютинация сперматозоидов отсутствовала, кристаллы Бехтера не выявлены. Индекс Фарриса как интегральный показатель указывает на достаточное количество подвижных сперматозоидов.

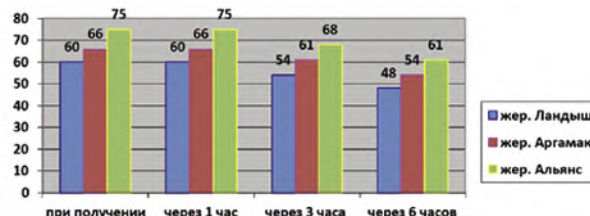
Полученные значения объема эякулята (30,8–76,0 мл) и концентрации сперматозоидов (0,298–0,500 млрд/мл) согласуются с данными для жеребцов рысистых пород^{4, 5}. Более высокий объем спермы у жеребца

Рис. 4. Динамика изменения подвижности спермиев жеребцов-производителей в процессе хранения семени.

Примечание: по оси X — время после получения эякулята (ч); по оси Y — подвижность спермиев (%).

Fig. 4. Dynamics of stallion sperm motility during semen storage.

Note: x-axis — time after ejaculation (h); y-axis — sperm motility (%).



Ландыша (76 мл) может быть связан с его возрастом (19 лет), так как у старых производителей нередко увеличивается секреция придаточных половых желез [23]. В то же время у него отмечена наименьшая доля морфологически нормальных сперматозоидов (76%) и максимальное содержание патологических форм (24%), что также характерно для возрастных изменений сперматогенеза [22].

Сравнение с результатами Никиткиной Е.В. [19], изучавшей сперму жеребцов разных пород, показывает, что показатели подвижности исследованных животных (60–75% живых форм через 1 час) находятся на среднем уровне, достаточном для использования в искусственном осеменении. Однако выявленное снижение подвижности на 12–14% через 6 часов хранения подтверждает необходимость криоконсервации спермы для долгосрочного сохранения генетического материала. Наилучшую устойчивость к хранению продемонстрировал жеребец Аргамак (снижение подвижности с 71% до 59%), что коррелирует с наименьшей долей патологических форм (8%) в его эякуляте.

Таблица 3. Дифференциальная спермограмма

Table 3. Differential semen analysis

Показатели	Ед. изм.	Сперма жеребцов		
		Ландыш	Аргамак	Альянс
Нормальные формы сперматозоидов	%	76	92	80
Дегенеративные формы:		24	8	20
-патология головки	%	8	2	8
-патология тела	%	6	5	4
-патология хвоста	%	8	1	5
Смешанная патология	%	2	0	3
Клетки сперматогенеза	%	1	1	1
Лейкоциты	в п/зр	единичные	-	единичные
Эритроциты	в п/зр	нет	нет	нет
Эпителий	в п/зр	-	единичные	единичные
Лецитиновые зерна	-	небольшое количество		
Агглютинация	-	нет	нет	нет
Кристаллы Бехтера	-	нет	нет	нет
Индекс Фарриса	Ед.	5456	2170	9100

⁷ Руководство к практическим занятиям по клинической лабораторной диагностике. Под ред. М. А. Базарновой, В. Т. Морозовой. Киев: Выща школа, 1988; 317с.

Индекс Фарриса, рассчитанный как произведение концентрации на процент подвижных форм, составил от 2170 до 9100, что значительно выше минимально допустимого порога (500) для криоконсервации.

Таким образом, сперма всех трёх жеребцов пригодна для замораживания, однако для жеребца Альянса с наиболее высоким индексом (9100) можно прогнозировать лучшую выживаемость после оттаивания.

Выводы/Conclusions

Исследование спермопродукции жеребцов-производителей племенной фермы «Риал» показало, что качественные показатели спермы жеребцов русской рысистой породы (объём эякулята 30,8–76,0 мл, концентрация 0,298–0,500 млрд/мл, доля живых сперматозоидов

60–75%, патологических форм 8–24%) соответствуют физиологическим нормам и пригодны для искусственного осеменения.

Установлено возрастное ухудшение морфологических показателей: у жеребца Ландыша (19 лет) доля патологических форм составила 24%, что в 3 раза выше, чем у 14-летних Аргамы и Альянса.

При хранении спермы при 37 °C подвижность сперматозоидов снижается на 5–7% через 3 часа и на 12–14% через 6 часов, что обосновывает целесообразность криоконсервации сразу после получения.

Высокие значения индекса Фарриса (2170–9100) свидетельствуют о хорошем оплодотворяющем потенциале исследованных жеребцов и позволяют рекомендовать их сперму для создания криобанка.

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 за счет внутреннего грантового проекта Института биотехнологии Национальной академии наук Кыргызской Республики и Ошского государственного университета

FUNDING

This research was supported by the Internal Grant Project of the Institute of Biotechnology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic and Osh State University

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сыдыкбеков К., Абдурасулов А.Х. Состояние коневодства [так!] и промеры новокыргызской породы лошадей. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2023; (1): 147–152. https://doi.org/10.52754/16948696_2023_1_17
2. Политова М.А. Состояние и перспективы внешнеэкономической деятельности в коневодстве Российской Федерации в 2015–2023 гг. *Аграрная наука*. 2024; (1): 123–127. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-123-127>
3. Фархутдинов К.Д., Имашева А.Р. Молочная продуктивность лошадей, формирование молочной продуктивности, взаимосвязь с фенотипом и генотипом лошадей. *Международный студенческий научный вестник*. 2025; (3): 56. EDN OBIKAM
4. Базарон Б.З., Хамируев Т.Н., Дашинимаяев С.М. Совершенствование продуктивных качеств забайкальской лошади. *Перспективы развития коневодства Казахстана, и сопредельных государств. Материалы международной научно-практической конференции*. Павлодар: Университет Торайгырова. 2025; 41–45. EDN OAEGRMY
5. Ренгач С.О., Карелин А.С., Федосова О.А. Изменение экстерьера лошадей в процессе эволюции. *Перспективы развития ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. 2025; 78–84. EDN OFXJSV
6. Исакова Ж.Т. и др. Генетический портрет кыргызской лошади. *Коневодство и конный спорт*. 2018; (1): 21–22. <https://doi.org/10.25727/HS.2018.1.19768>
7. Исакова Ж.Т. и др. Филогенетический анализ для кыргызской породы лошадей по 17 микросателлитным маркерам. *Генетика*. 2019; 55(1): 94–99. <https://doi.org/10.1134/S0016675819010077>
8. Каргаева М.Т. и др. Формирование мясной продуктивности казахских лошадей адайского отряда. *Аграрная наука*. 2021; (9): 47–51. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-47-51>

REFERENCES

1. Sydykbekov K., Abdurasulov A.Kh. State of horse breeding and measurements of the Novokirgiz horses. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2023; (1): 147–152 (in Russian). https://doi.org/10.52754/16948696_2023_1_17
2. Politova M.A. State and prospects of external economic activity in Russian horse breeding in 2015–2023. *Agrarian science*. 2024; (1): 123–127 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-123-127>
3. Farkhutdinov K.D., Imasheva A.R. Dairy productivity of horses, the formation of dairy productivity, the relationship with the phenotype and genotype of horses. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2025; (3): 56 (in Russian). EDN OBIKAM
4. Bazarov B.Z., Khamiruyev T.N., Dashinimayev S.M. Improving the productive qualities of the Transbaikalian horse. *Prospects for the development of horse breeding in Kazakhstan and neighboring countries. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Pavlodar: Toraihyrov University. 2025; 41–45 (in Russian). EDN OAEGRMY
5. Rengach S.O., Karelin A.S., Fedosova O.A. Changes in the exterior of horses in the process of evolution. *Prospects for the development of veterinary medicine, animal science, and biotechnology. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025; 78–84 (in Russian). EDN OFXJSV
6. Isakova Zh. T. et al. Genetic portrait of Kyrgyz horse. *Konevodstvo i konny sport*. 2018; (1): 21–22 (in Russian). <https://doi.org/10.25727/HS.2018.1.19768>
7. Isakova Z.T. et al. Phylogenetic Analysis of Kyrgyz Horse Using 17 Microsatellite Markers. *Russian Journal of Genetics*. 2019; 55(1): 100–104. <https://doi.org/10.1134/S1022795419010077>
8. Kargaeyeva M.T. et al. Formation of meat productivity of Kazakh horses of the Adai offspring. *Agrarian science*. 2021; (9): 47–51 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-47-51>

9. Simeanu D., Matei M. Farming Factors' Influence on Animal Production. *Agriculture*. 2025; 15(13): 1346. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131346>

10. Алимардонов А.Ш., Сафаров М.М. Эффективность применения искусственного осеменения в коневодстве. *Аграрная наука*. 2020; (1): 31–33. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-334-1-31-33>

11. Вялкova М.Д., Гаврилов Б.В. Новые приемы в проведении искусственного осеменения лошадей. *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 78-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2022 год*. Краснодар: КубГАУ. 2023; 1: 345–347. EDN LLHTHN

12. Синикиди М.Д., Родин И.А. Новые направления в искусственном осеменении кобыл. *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год*. Краснодар: КубГАУ. 2022; 1: 457–460. EDN MMTCE

13. Дикущина К.А., Попович С.О., Чепуштанова О.В. Технология искусственного осеменения кобыл. *Приоритетные направления развития аграрной науки и технологий. Сборник тезисов научно-практической конференции, посвященной 75-летию юбилею факультета биотехнологии и пищевой инженерии*. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2024; 1: 342–344. EDN ERNUTK

14. Лебедева Л.Ф., Атрошенко М.М., Бурмистрова С.А. Основные факторы, влияющие на результативность осеменения кобыл спермой, криоконсервированной по российским и зарубежным технологиям. *Сельскохозяйственная биология*. 2015; 50(4): 476–485. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.4.476rus>

15. Романова А.И., Атрошенко М.М., Фролова Н.А., Широкова О.В. Активность супероксиддисмутазы в спермоплазме и качество спермы жеребцов. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2024; 258: 171–175. EDN HULIHE

16. Catalán J. *et al.* Impact of Seminal Plasma Antioxidants on DNA Fragmentation and Lipid Peroxidation of Frozen–Thawed Horse Sperm. *Antioxidants*. 2024; 13(3): 322. <https://doi.org/10.3390/antiox13030322>

17. Khan M.Z. *et al.* Determinant genetic markers of semen quality in livestock. *Frontiers in Endocrinology*. 2024; 15: 1456305. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1456305>

18. Максимова М.А., Корочкина Е.А. Криореистентность спермы разных видов животных (обзор). *Генетика и разведение животных*. 2023; (4): 127–134. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-4-127-134>

19. Никиткина Е.В. Генетические основы качества спермы жеребцов. *Международный вестник ветеринарии*. 2023; (4): 413–420. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.4.413>

20. Науменкова В.А., Атрошенко М.М., Гулов А.Н., Широкова О.В., Фролова Н.А. Сравнительная оценка определения целостности мембран спермиев жеребцов различными методами. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020; (3): 45–48. <https://doi.org/10.31857/S2500262720030114>

21. Храброва Л.А., Науменкова В.А., Атрошенко М.М. Антигенный состав систем групп крови и качество спермы жеребцов разных пород. *Генетика и разведение животных*. 2020; (2): 3–9. EDN ERYQEH

22. Токтосунув Б., Хегай С., Исакунов А.М., Абдурасулов А. Морфологические и генетические характеристики кыргызских лошадей. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2025; (2): 44–60 (на англ. яз.). EDN HGPRT

23. Науменкова В.А., Брагина Е.Е., Никиткина Е.В. Устойчивость спермы жеребцов к замораживанию под влиянием антиоксиданта SkQ1. *Сельскохозяйственная биология*. 2012; 47(2): 64–68. EDN PWOQV

9. Simeanu D., Matei M. Farming Factors' Influence on Animal Production. *Agriculture*. 2025; 15(13): 1346. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131346>

10. Alimardonov A.Sh., Safarov M.M. The effectiveness of artificial insemination in horse breeding. *Agrarian science*. 2020; (1): 31–33 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-334-1-31-33>

11. Vyalkova M.D., Gavrilov B.V. New techniques in artificial insemination of horses. *Scientific support for the agro-industrial complex. Collection of articles based on the materials of the 78th scientific and practical conference of students on the results of R&D for 2022*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University. 2023; 1: 345–347 (in Russian). EDN LLHTHN

12. Sinikidi M.D., Rodin I.A. New directions in artificial insemination of mares. *Scientific support for the agro-industrial complex. Collection of articles based on the materials of the 77th scientific and practical conference of students on the results of R&D for 2021*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University. 2022; 1: 457–460 (in Russian). EDN MMTCE

13. Dikushina K.A., Popovich S.O., Chepushtanova O.V. Artificial insemination technology for mares. *Priority areas for the development of agricultural science and technology. Collection of abstracts of the scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Faculty of Biotechnology and Food Engineering*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2024; 1: 342–344 (in Russian). EDN ERNUTK

14. Lebedeva L.F., Atroshchenko M.M., Burmistrova S.A. Main factors affecting mare insemination with cryopreserved domestic and foreign sperm. *Agricultural Biology*. 2015; (4): 476–485. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.4.476eng>

15. Romanova A.I., Atroshchenko M.M., Frolova N.A., Shirokova O.V. Superoxide dismutase activity in seminal plasma and semen quality of stallions. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2024; 258: 171–175 (in Russian). EDN HULIHE

16. Catalán J. *et al.* Impact of Seminal Plasma Antioxidants on DNA Fragmentation and Lipid Peroxidation of Frozen–Thawed Horse Sperm. *Antioxidants*. 2024; 13(3): 322. <https://doi.org/10.3390/antiox13030322>

17. Khan M.Z. *et al.* Determinant genetic markers of semen quality in livestock. *Frontiers in Endocrinology*. 2024; 15: 1456305. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1456305>

18. Maksimova M., Korochkina E. Sperm cryoresistance of different animal species. *Genetics and breeding of animals*. 2023; (4): 127–134 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-4-127-134>

19. Nikitkina E.V. The genetic basis of the sperm quality of stallions. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2023; (4): 413–420 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.4.413>

20. Naumenkova V.A., Atroshchenko M.M., Gulov A.N., Shirokova O.V., Frolova N.A. Comparison of assessment of the membrane integrity stallionsperm using of different methods. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; (3): 45–48 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500262720030114>

21. Khrabrova L., Naumenkova V., Atroshchenko M. Antigenic composition of blood group systems and sperm quality of stallion of different breeds. *Genetics and breeding of animals*. 2020; (2): 3–9 (in Russian). EDN ERYQEH

22. Toktosunov B., Khagay S., Isakunov A.M., Abdurasulov A. The morphological and genetic characteristics of Kyrgyz horses. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2025; (2): 44–60. EDN HGPRT

23. Naumenkova V.A., Bragina E.E., Nikitkina E.V. Resistance of stallion's sperm to freezing due to introduction of SkQ1 antioxidant to the medium. *Agricultural Biology*. 2012; 47(2): 64–68 (in Russian). EDN PWOQV

ОБ АВТОРАХ

Абдугани Холмурзаевич Абдурасулов¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ветеринарной медицины и биотехнологии

aabdurasulov@oshsu.kg

<https://orcid.org/0000-0003-3714-6102>

ABOUT THE AUTHORS

Abdugani Kholmurzaevich Abdurasulov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Veterinary Medicine and Biotechnology

aabdurasulov@oshsu.kg

<https://orcid.org/0000-0003-3714-6102>

Болот Ишембекович Токтосунув²
доктор сельскохозяйственных наук,
заведующий лабораторией биохимии
НАН КР
bolot_2020@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2835-0438>

Аман Мурзабекович Исакунов³
главный специалист департамента племенного
животноводства, пастбищ и кормов
isakunovaman@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4638-3162>

¹Ошский государственный университет,
ул. Алымбек Датка, 331, Ош, 723500, Кыргызстан

²Институт биотехнологии Национальной академии наук
Кыргызской Республики,
проспект Чуй, 265 Бишкек, 720071, Кыргызстан

³Служба ветеринарии, развития животноводства, пастбищ
и кормов при Министерстве водных ресурсов, сельского
хозяйства и перерабатывающей промышленности
Кыргызской Республики,
Киевская улица, 96а, Бишкек, 720040, Кыргызстан

Bolot Ishembekovich Toktosunov²
Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory
of Biochemistry of the National Academy of Sciences
of the Kyrgyz Republic
bolot_2020@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2835-0438>

Aman Murzabekovich Isakunov³
Chief Specialist, Department of Pedigree Animal Breeding,
Pasture and Fodder Resources
isakunovaman@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4638-3162>

¹Osh State University,
331 Alymbek Datka St., Osh, 723500, Kyrgyzstan

²Institute of Biotechnology of the National Academy of
Sciences of the Kyrgyz Republic,
265 Chuy Avenue, Bishkek, 720071, Kyrgyzstan

³Veterinary, Livestock, Pasture, and Forage Development
Service of the Ministry of Water Resources, Agriculture, and
Processing Industry of the Kyrgyz Republic,
96a Kiyevskaya st., Bishkek, 720040, Kyrgyzstan



**26
ИЮНЯ**

САМАРСКИЙ ОБЛАСТНОЙ ДЕНЬ ПОЛЯ и сенажиса 2026

Самарская область, Красноярский район,
опытное поле ГБУ СО НИИ «Жигулевские сады»
По вопросам участия: 8 927 618 77 12; 8 927 156 70 20

Реклама



PRO ПОЛЕ



PRO СОПА



PRO ТЕХНОЛОГИИ



PRO ТЕХНИКУ



О. А. Кошкина ✉

Т. Е. Денискова

Н.А. Чурбакова

А.Д. Соловьева

А.В. Доцев

Н.А. Зиновьева

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста, пос.
Дубровицы, Московская обл., Россия

✉ i@koshkina-8.ru

Поступила в редакцию: 23.01.2026

Одобрена после рецензирования: 19.05.2026

Принята к публикации: 02.06.2026

© Кошкина О.А., Денискова Т.Е.,
Чурбакова Н.А., Соловьева А.Д.,
Доцев А.В., Зиновьева Н.А.

Research article

 creative commons
Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-103-113

Olga A. Koshkina ✉

Tatiana E. Deniskova

Nadezhda A. Churbakova

Anastasiya D. Solovieva

Arsen V. Dotsev

Natalia A. Zinovieva

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow
Region, Russia

✉ i@koshkina-8.ru

Received by the editorial office: 23.01.2026

Accepted in revised: 19.05.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

© Koshkina O.A., Deniskova T.E.,
Churbakova N.A., Solovieva A.D., Dotsev A.V.,
Zinovieva N.A.

Сравнительный анализ митохондриального гена цитохрома b (*CytB*) у российских и индийских пород коз

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Россия и Индия представляют собой два важных, но контрастных центра козоводства с различной историей формирования пород. Сравнительный анализ генетического разнообразия пород из этих удаленных регионов с использованием гена *CytB* ранее не проводился. Такое исследование позволяет реконструировать филогенетические связи и оценить вклад исторических факторов в формирование генофонда.

Методы. На основе полногеномного секвенирования (NGS) были получены последовательности гена *CytB* для 155 особей из 15 пород коз России и Индии. Использовали расчет индексов генетического разнообразия (H_d , π), построение медианной сети гаплотипов и байесовского филогенетического дерева, определение гаплогрупп и анализ молекулярной дисперсии.

Результаты. Обе группы показали высокое гаплотипическое разнообразие, при этом нуклеотидное разнообразие (π) российских пород оказалось в 1,5 раза выше (0,00260 против 0,00176 у индийских). Доминирует гаплогруппа А (общая частота 77,4%). Она преобладает в российских породах (89,5%). Гаплогруппа В обнаружена только у индийских коз (30,4%), что указывает на различия в материнских линиях. Филогенетический анализ не выявил четкой географической кластеризации, кроме обособления гаплогруппы В. AMOVA показал, что основная вариация (82,26%) сосредоточена внутри пород. Различия между российскими и индийскими популяциями как группами минимальны (5,93%).

Исследование демонстрирует общность происхождения (доминирование гаплогруппы А, слабая межгрупповая дифференциация), и специфику генетической истории российских и индийских пород (разное нуклеотидное разнообразие, наличие уникальной для Индии гаплогруппы В).

Ключевые слова: козы (*Capra hircus*), митохондриальная ДНК, ген цитохрома b (*CytB*), гаплогруппы, генетическое разнообразие, филогенетический анализ.

Для цитирования: Кошкина О.А., Денискова Т.Е., Чурбакова Н.А., Соловьева А.Д., Доцев А.В., Зиновьева Н.А. Сравнительный анализ полиморфизма митохондриального гена цитохрома b (*CytB*) у российских и индийских пород коз. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 103–113.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-103-113>

Comparative analysis of mitochondrial cytochrome b (*CytB*) gene polymorphism in Russian and Indian goat breeds

ABSTRACT

Relevance. Russia and India represent two important yet contrasting centers of goat breeding with different breed formation histories. A comparative analysis of the genetic diversity of breeds from these remote regions using the *CytB* gene had not been conducted previously. Such a study allows for the reconstruction of phylogenetic relationships and assessment of the contribution of historical factors to the formation of the gene pool.

Methods. Based on whole-genome sequencing (NGS), *CytB* gene sequences were obtained for 155 individuals from 15 goat breeds of Russia and India. The analysis involved calculation of genetic diversity indices (H_d , π), construction of a median-joining haplotype network and a Bayesian phylogenetic tree, determination of haplogroups, and analysis of molecular variance (AMOVA).

Results. Both groups exhibited high haplotype diversity, while the nucleotide diversity (π) of Russian breeds was 1.5 times higher (0.00260 vs. 0.00176 in Indian breeds). Haplogroup A dominates (overall frequency 77.4%). It is prevalent in Russian breeds (89.5%). Haplogroup B was found only in Indian goats (30.4%), indicating differences in maternal lineages. Phylogenetic analysis revealed no clear geographical clustering, except for the distinct separation of haplogroup B. AMOVA showed that the main variation (82.26%) is concentrated within breeds. Differences between Russian and Indian populations as groups are minimal (5.93%).

The study demonstrates both a common origin (dominance of haplogroup A, weak intergroup differentiation) and the specifics of the genetic history of Russian and Indian breeds (different nucleotide diversity, presence of a haplogroup B unique to India).

Keywords: goat (*Capra hircus*), mitochondrial DNA, cytochrome b gene (*CytB*), haplogroups, genetic diversity, phylogenetic analysis

For citation: Koshkina O.A., Deniskova T.E., Churbakova N.A., Solovieva A.D., Dotsev A.V., Zinovieva N.A. Comparative analysis of mitochondrial cytochrome b (*CytB*) gene polymorphism in Russian and Indian goat breeds. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 103–113 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-103-113>

Введение/Introduction

Домашняя коза (*Capra hircus*) является одним из ключевых видов сельскохозяйственных животных, обеспечивающим человека мясом, молоком, шерстью и пухом [1]. Несмотря на её глобальное распространение, вопросы происхождения, генетического разнообразия и филогенетических взаимоотношений между породами из различных географических регионов остаются предметом активного изучения. Россия и Индия представляют собой два уникальных центра козоводства, сформированных в различных климатических, экономических и культурных условиях. Российские породы (например, горно-алтайская, советская шерстная) адаптированы к суровому континентальному климату и зачастую имеют узкоспециализированную продуктивность. Индийские породы отличаются огромным фенотипическим разнообразием и, как считается, обладают высоким уровнем генетической вариабельности в силу древности одомашнивания коз в Южной Азии [2]. Индийские козы известны во всём мире благодаря своим уникальным качествам, таким как высокая молочная продуктивность у пород Jamnapari и Jakhrana, высокая плодовитость у коз Black Bengal, Beetal и Malabari, высокая скорость роста у коз Beetal, а также как источник самого роскошного натурального волокна — пашмины, которую получают от коз пород Changthangi и Chegu. К тому же уникальной особенностью индийских коз является их экстремальная адаптивность к температурам, варьирующимся от сильной жары засушливых регионов до суровых холодов высокогорных пустынь. [3]. Сравнительный генетический анализ пород из столь отдалённых регионов позволит не только оценить их текущее разнообразие, но и прояснить исторические пути миграции и селекции. Для решения этих филогенетических и популяционно-генетических задач наиболее эффективным инструментом является анализ митохондриальной ДНК (мтДНК).

Митохондриальная ДНК является классическим маркером для изучения эволюционной истории животных благодаря материнскому наследованию, отсутствию рекомбинации, высокой скорости мутаций и относительной простоте анализа. Среди генов мтДНК ген цитохрома b (*Cytb*) занимает особое место. Будучи кодирующим геном, он обладает вариабельными сайтами, информативными для установления филогенетических отношений на уровне видов, пород и внутривидовых линий. Анализ полиморфизма гена *Cytb* успешно применяется для идентификации гаплогрупп, построения филогенетических деревьев и оценки генетических расстояний между популяциями сельскохозяйственных животных (например, домашней овцы, *Ovis Aries*) [4]. Вместе с тем эффективность использования гена цитохрома

b (*Cytb*) для филогенетического анализа и оценки внутривидового разнообразия подтверждается современными исследованиями локальных популяций, например, черной иракской козы [5]. В данном исследовании *Cytb* также выбран в качестве ключевого маркера для проведения сравнительного анализа пород России и Индии с целью реконструкции их филогенетических взаимоотношений.

Многочисленные исследования на основе полного сиквенса мтДНК или её гипервариабельного региона (D-петля) позволили выделить несколько основных материнских линий (гаплогрупп) домашних коз, обозначаемых буквами A, B, C, D, F, G [6–8]. Доминирующей и повсеместно распространённой является гаплогруппа A, которая составляет основу большинства европейских, африканских и азиатских популяций. Гаплогруппа B встречается реже, но все равно имеет широкое распространение в Юго-Восточной Азии [9]. Гаплогруппы C, D, F, G считаются более редкими и часто ассоциированы с конкретными регионами. Гаплогруппа C встречается в Китае, Монголии, Франции, Швейцарии, Словении, Испании, Португалии, Пакистане и некоторых регионах Индии [10]. Гаплогруппа D была идентифицирована как отдельная линия в популяциях Восточной Азии и характеризуется низкой частотой встречаемости у монгольских, корейских и некоторых индийских коз [2, 11]. Гаплогруппа F обнаружена только на острове Сицилия в Италии, в то время как гаплогруппа G обнаружена в Иране, Саудовской Аравии, Египте и Турции [2, 10–13].

Существует мнение, что современные козы произошли от нескольких независимых событий одомашнивания безоарового козла, *Capra aegagrus*, в долинах верхнего Евфрата, на юго-востоке Анатолии, примерно 10 500 лет до настоящего времени¹, и в горах Загрос 9900–9500 лет до настоящего времени [14], с последующим распространением и интрогрессией местных диких видов.

Индия признается одним из вторичных центров разнообразия домашних коз. Исследования мтДНК индийских пород выявили преобладание гаплогруппы A с высоким внутривидовым разнообразием, а также присутствие гаплогрупп B, C и D [2, 15, 16]. Высокий уровень полиморфизма свидетельствует о древности популяций и возможном длительном независимом развитии. Все предыдущие работы были основаны на характеристике гипервариабельного участка митохондриальной ДНК D-петли, в то время как детальный сравнительный анализ с использованием митохондриального гена *Cytb* для широкого спектра индийских пород в литературе представлен недостаточно.

Изучение генетического разнообразия российских пород коз с помощью молекулярных

¹ Legge T. The beginning of caprine domestication in Southwest Asia. In: D.R. Harris (ed.), The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia. Smithsonian Institution Press, Washington. 1996; pp. 238–262.

маркеров активно развивается в последние два десятилетия. Главным образом, исследования российских пород коз основаны на использовании микросателлитов [17], SNP [18-20] и анализа гипервариабельного участка мтДНК D-петли [21, 22]. Проведенные работы показали, что российские породы также характеризуются доминированием гаплогруппы А. При этом выявлено наличие уникальных гаплотипов, что может быть следствием адаптации к экстремальным условиям, эффекта основателя в процессе породообразования или исторических скрещиваний с местными аборигенными популяциями.

Таким образом, в настоящее время существует значительный пробел в сравнительной филогенетической характеристике пород коз из столь отдаленных и контрастных регионов, как Россия и Индия, с использованием консервативного и информативного маркера — гена *CytB*. Большинство работ проводилось либо на породах одного региона, либо с использованием других маркеров (D-петля).

Целью настоящего исследования является проведение сравнительного анализа полиморфизма митохондриального гена *CytB* у представителей основных российских и индийских пород коз для оценки уровня внутри- и межпопуляционного генетического разнообразия, а также идентификации гаплотипов и установления их принадлежности к известным мировым гаплогруппам. Проведение такого исследования позволит не только пополнить мировую базу данных генетических ресурсов коз, но и даст ценную информацию для программ сохранения биоразнообразия и рационального использования генетического потенциала пород в селекции.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Образцы ткани (ушной выщип) 15 пород коз России и Индии были получены из биоресурсной коллекции «Банк генетического материала домашних и диких видов животных и птицы» в 2025 году Федерального исследовательского центра Всероссийский институт животноводства им. Л.К. Эрнста, входящей в состав биологических коллекций национального Центра генетических ресурсов сельскохозяйственных животных (Россия).

Итоговая выборка включала:

четыре российских породы:

- ✓ горноалтайская пуховая (ALTM, n = 16),
- ✓ карачаевская (KRCH, n = 20),
- ✓ оренбургская пуховая (OREN, n = 20),
- ✓ советская шерстная (SOVM, n = 20);

а также одиннадцать индийских пород:

- ✓ Assam Hill (ASL, n = 9; штат Ассам на северо-востоке Индии.),
- ✓ Changthangi (CHA, n = 8; высокогорное плато Чангтанг в Ладакхе, северная Индия),
- ✓ Jakharana (JAK, n = 10; деревня Джакхарана в округе Алвар штата Раджастан, северо-западная Индия),
- ✓ Jharkhand Black (JB, n = 3, штат Джаркханд, восточная Индия),
- ✓ Kalahandi (KAN, n = 10; округ Калаханди штата Орисса (Одиша), восточная Индия),
- ✓ Kanni Adu (KAN, n = 9; южные округа Тамилнада (Вируднагар, Тутикорин, Тирунелвели), южная Индия),
- ✓ Marwari (MAR, n = 5; пустыни Тар, западный Раджастан),
- ✓ Sangamneri (SAN, n = 4; город Сангамнер в округе Ахмеднагар. Южная Индия),
- ✓ Surti (SUR, n = 8; город Сурат в Гуджарате; малочисленная и исчезающая порода Индии.),
- ✓ Tellicherry (TEL, n = 4; округ Малабар в Керале, юго-западная Индия),
- ✓ Uttarakhand local (UK, n = 9; горная порода из штата Уттаракханд (Западные Гималаи)).

ДНК из ткани выделяли с использованием набора ДНК-Экстран-2 (ЗАО «Синтол», Россия) по протоколу производителя. Целостность полученных растворов геномной ДНК определяли в 1%-ом агарозном геле.

Качество и количество проводили с использованием спектрофотометра NanoDrop™ 8000 («ThermoFisher Scientific, Inc.», США) и Quibit 4.0 («Invitrogen/Life Technologies», США). К дальнейшему исследованию были отобраны пробы высокого качества (соотношение $OD_{260/280} > 1,8$) и с концентрацией 30 нг/мкл при объеме не менее 100 мкл.

Полногеномное секвенирование было проведено по технологии NGS (next generation sequencing) на секвенаторе NovaSeq 6000 («Illumina, Inc.», США). Подготовка библиотек для секвенирования была выполнена с использованием наборов TruSeq DNA Nano Library Prep kit («Illumina, Inc.», США) и Accel-NGS® 2S Plus DNA Library Kit (IDT) for Illumina® Platforms («Swift Biosciences, Inc.», США). Средняя глубина покрытия генома, включая локус *CytB*, составила 30X.

Выравнивание на референсный геном *Capra hircus*.ARS1.dna_sm.toplevel.fa.gz (https://ftp.ensembl.org/pub/release-113/fasta/capra_hircus/dna/) проводили с помощью инструментов bwa-mem2². и SAMtools³.

Из полных геномов были извлечены полные нуклеотидные последовательности митохондриального гена *CytB*. Последовательность гена *CytB* была

² Vasmuddin Md, Sanchit Misra, Heng Li, Srinivas Aluru. Efficient Architecture-Aware Acceleration of BWA-MEM for Multicore Systems. IEEE Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), 2019. 10.1109/IPDPS.2019.00041.

³ Li H, Handsaker B, Wysoker A, Fennell T, Ruan J, Homer N, Marth G, Abecasis G, Durbin R, and 1000 Genome Project Data Processing Subgroup, The Sequence alignment/map (SAM) format and SAMtools, Bioinformatics (2009) 25(16) 2078-2079. doi:10.1093/bioinformatics/btp352

восстановлена из полной последовательности мтДНК после ее выравнивания, выполненного с использованием MUSCLE алгоритма в программном обеспечении MEGA 7.0.26⁴.

Для построения медианной сети использовали программное обеспечение PopART 1.7⁵. Наилучшие модели эволюции определяли в программе PartitionFinder 2⁶ с использованием скорректированного критерия информации Акайке (AICc). Оптимальными оказались эволюционные модели HKY+I, F81 и GTR+I+G для каждого нуклеотида соответственно. Анализ AMOVA проводили в программе Arlequin 3.5.2.2⁷.

Построение байесовского филогенетического дерева выполнили в программе MrBayes 3.2.7⁸ с последующей визуализацией в FigTree 1.4.3⁹. Поиск по методу Монте-Карло¹⁰ с цепями Маркова был проведен с применением четырех цепей с использованием 10000000 шагов, деревья отбирались каждые 500 поколений (первые 25% деревьев были отброшены как «горящие»). В программе DnaSP 6.12.01 рассчитывали параметры генетического разнообразия: число полиморфных

сайтов (S), среднее число нуклеотидных различий (K), число гаплотипов (H), гаплотипическое разнообразие (Hd), нуклеотидное разнообразие (π), ошибки средних арифметических ($\pm$ SEM).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Митохондриальный ген *CytB* характеризовался наличием 50 полиморфных сайтов, распределение которых между исследуемыми особями обуславливало формирование 46 различных гаплотипов.

Как показано в таблице 1, российские и индийские породы коз характеризовались схожим высоким гаплотипическим ($H_d = 0,902$ и $H_d = 0,760$) разнообразием. При этом у индийских коз наблюдалось меньшее нуклеотидное разнообразие по сравнению с российскими породами ($\pi = 0,00176$ и $\pi = 0,00260$, соответственно). Значительно меньшее нуклеотидное разнообразие (π) у индийских пород по сравнению с российскими, при сходном гаплотипическом разнообразии (H_d), может указывать на их различную демографическую

Таблица 1. Индексы генетического разнообразия в популяциях 15 пород домашних коз России и Индии (*Capra hircus*), рассчитанные на основе анализа нуклеотидной последовательности митохондриального гена *CytB*.

Table 1. Genetic diversity indices in populations of 15 Russian and Indian domestic goat (*Capra hircus*) breeds, calculated based on the analysis of the mitochondrial *CytB* gene nucleotide sequence.

Популяции	n	S	K	H	Hd ($\pm$ SEM)	π ($\pm$ SEM)	Tajima'D	Fu's Fs
ASL	9	3	1,222	3	0,556 $\pm$ 0,165	0,00107 $\pm$ 0,00032	0,40982ns	0,736ns
CHA	8	3	1,036	3	0,607 $\pm$ 0,164	0,00091 $\pm$ 0,00037	-0,43142ns	0,268ns
JAK	10	7	1,711	5	0,756 $\pm$ 0,130	0,00150 $\pm$ 0,00039	-1,30658ns	-0,960ns
JB	3	2	1,333	2	0,667 $\pm$ 0,314	0,00117 $\pm$ 0,00055	-	-
KAH	10	3	1,311	3	0,644 $\pm$ 0,101	0,00115 $\pm$ 0,00019	0,85041ns	1,021ns
KAN	9	10	2,500	5	0,806 $\pm$ 0,120	0,00219 $\pm$ 0,00069	-1,49216ns	-0,354ns
MAR	5	9	4,000	3	0,700 $\pm$ 0,218	0,00351 $\pm$ 0,00161	-0,52640ns	1,872
SAN	4	6	3,000	4	1,000 $\pm$ 0,177	0,00263 $\pm$ 0,00073	-	-
SUR	8	3	1,107	3	0,607 $\pm$ 0,164	0,00097 $\pm$ 0,00031	-0,17740ns	0,390ns.
TEL	4	2	1,000	2	0,500 $\pm$ 0,265	0,00088 $\pm$ 0,00047	-	-
UK	9	4	1,056	3	0,556 $\pm$ 0,165	0,00093 $\pm$ 0,00044	-1,14944ns	0,453ns
ALTM	16	27	5,400	11	0,942 $\pm$ 0,041	0,00474 $\pm$ 0,00084	-1,38259 ns	-2,588ns
KRCH	20	4	0,984	5	0,721 $\pm$ 0,072	0,00086 $\pm$ 0,00015	-0,36786ns	-1,155ns
OREN	20	7	1,763	12	0,879 $\pm$ 0,065	0,00155 $\pm$ 0,00023	-0,34982ns	-8,663**
SOVM	20	27	3,463	13	0,932 $\pm$ 0,039	0,00304 $\pm$ 0,00069	-2,12096*	-5,826*
Российские породы	76	41	2,953	34	0,902 $\pm$ 0,024	0,00260 $\pm$ 0,00035	-2,09006*	-29,928**
Индийские породы	79	21	2,001	15	0,760 $\pm$ 0,026	0,00176 $\pm$ 0,00021	-1,58981*	-5,340*
Всего	155	50	2,575	46	0,854 $\pm$ 0,019	0,00226 $\pm$ 0,00021	-2,16202**	-46,902**

Примечание. n — число образцов, S — число полиморфных сайтов, K — среднее число нуклеотидных различий, H — количество гаплотипов, Hd — гаплотипическое разнообразие, π — нуклеотидное разнообразие. ns, P > 0,05; *P < 0,05; **P < 0,01. Российские породы: ALTM — горноалтайская пуховая, KRCH — каракаевская, OREN — оренбургская пуховая, SOVM — советская шерстная. Индийские породы: ASL — Assam Hill, CHA — Changthangi, JAK — Jakharana, JB — Jharkhand Black, KAH — Kalahandi, KAN — Kanni Adu, MAR — Marwari, SAN — Sangamneri, SUR — Surti, TEL — Tellicherry, UK — Uttarakhand local.

⁴ Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Molecular biology and evolution*, 2016, 33(7): 1870-1874. (doi:10.1093/molbev/msw054).

⁵ Leigh J.W., Bryant D. Popart: Full-feature software for haplotype network construction. *Methods in Ecology and Evolution*, 2015, 6(9): 1110-1116. (doi: 10.1111/2041-210X.12410).

⁶ Lanfear R., Frandsen P.B., Wright A.M., Senfeld T., Calcott B. PartitionFinder 2: New Methods for Selecting Partitioned Models of Evolution for Molecular and Morphological Phylogenetic Analyses. *Molecular biology and evolution*, 2017, 34(3): 772-773. (doi: 10.1093/molbev/msw260. PMID: 28013191).

⁷ Excoffier L., Lischer H.E. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular ecology resources*, 2010, 10(3): 564-567. (doi:10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x).

⁸ Ronquist F., Teslenko M., van der Mark P., Ayres D.L., Darling A., Hohn S., Larget B., Liu L., Suchard M.A., Huelsenbeck J.P. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Systematic biology*, 2012, 61(3): 539-542. (doi: 10.1093/sysbio/sys029).

⁹ Molecular Evolution, Phylogenetics and Epidemiology. [(accessed on 25.12.2025)]; Available online: <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree>.
¹⁰ van Ravenzwaaij D., Cassey P., Brown S.D. A simple introduction to Markov Chain Monte-Carlo sampling. *Psychon Bull Rev.* 2018;25(1):143-154. doi:10.3758/s13423-016-1015-8

историю. Российские аборигенные породы, не подвергавшиеся интенсивной селекции, сохранили более древние и разнообразные генетические варианты [21]. В то время как для индийских популяций, помимо направленного отбора по хозяйственно-полезным признакам, следует также рассматривать такие сценарии, как эффект основателя при формировании многочисленных локальных пород и возможное «бутылочное горлышко» в их истории, что привело к потере редких аллелей.

Анализ тестов нейтральности подтверждает эти различия. Для российских пород выявлены статистически значимые отрицательные значения обоих тестов (Tajima's $D = -2,09006^*$; Fu's $F_s = -29,928^{**}$), что указывает на недавнюю демографическую экспансию. Это согласуется с высокими показателями гаплотипического и нуклеотидного разнообразия, а также с отсутствием длительного «бутылочного горлышка» в их истории.

Для индийских пород также выявлены статистически значимые отрицательные значения обоих тестов (Tajima's $D = -1,58981^*$; Fu's $F_s = -5,340^*$), что свидетельствует о недавней демографической экспансии. Однако выраженность сигнала экспансии заметно ниже, чем у российских пород (Fu's F_s : $-5,34$ против $-29,93$). Более умеренные отрицательные значения тестов нейтральности в сочетании с более низким нуклеотидным разнообразием ($\pi = 0,00176$) при сходном гаплотипическом разнообразии ($H_d = 0,760$) позволяют предположить, что индийские популяции пережили период сокращения численности (эффект основателя или «бутылочное горлышко») с последующей недавней экспансией. Это привело к восстановлению гаплотипического разнообразия при сохраненном дефиците нуклеотидного полиморфизма и более слабому сигналу экспансии в тестах нейтральности.

Анализ распределения парных нуклеотидных различий (mismatch distribution) (рисунок 1) выявил различия в демографической истории между группами. Для российских пород распределение оказалось мультимодальным с двумя пиками. Первый пик соответствует недавней демографической экспансии, второй — наличию более древних линий, сохранившихся в популяции. Это указывает на то, что недавняя экспансия российских пород не привела к полному вытеснению древних линий, что может быть следствием смешения двух генетически различных групп или поэтапного расширения численности. Для индийских пород, напротив, распределение было унимодальным, что является классическим признаком популяции, пережившей внезапную демографическую экспансию без сохранения выраженных древних компонентов.

Внутри регионов наблюдался значительный разброс показателей. Среди индийских пород высокое нуклеотидное разнообразие продемонстрировали породы MAR ($\pi = 0,00351$) и KAN ($\pi = 0,00219$), что свидетельствует о глубокой генетической дифференциации внутри этих популяций. Популяция TEL показала наименьшие значения как гаплотипического ($H_d = 0,500$), так и нуклеотидного разнообразия ($\pi = 0,00088$), однако в силу малого объема выборки ($n = 4$) этот вывод требует подтверждения на большем материале.

В группе российских пород наивысшие значения параметров генетического разнообразия были отмечены в породе ALTM ($H_d = 0,942$, $\pi = 0,00474$). Ее исключительно высокое нуклеотидное разнообразие почти в 5,5 раз превышало минимальное значение в выборке, которое показала KRCH ($\pi = 0,00086$). Породы SOVM и OREN также отличались высоким и умеренно-высоким разнообразием ($H_d = 0,932$, $\pi = 0,00304$ и $H_d = 0,879$, $\pi = 0,00155$) соответственно.

Рис. 1. График распределения частот значений парных различий между гаплотипами анализируемой последовательности гена *CytB* в популяциях 15 пород домашних коз (*Capra hircus*) России (А) и Индии (В).

Fig. 1. Mismatch distribution (frequency of pairwise differences) of the *CytB* gene haplotypes in populations of 15 domestic goat (*Capra hircus*) breeds from Russia (A) and India (B).

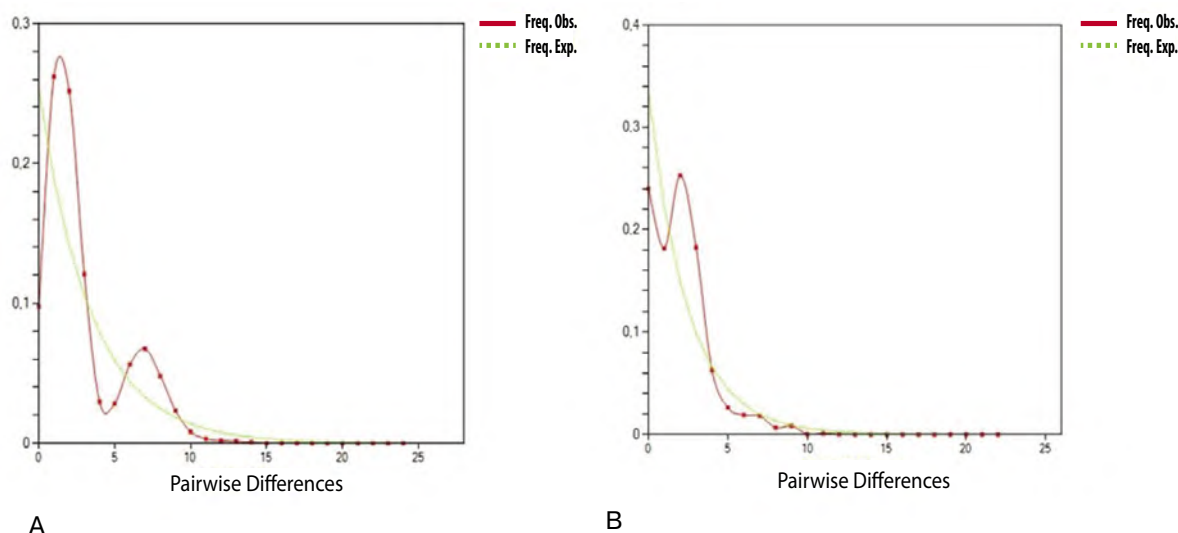


Таблица 2. Результаты AMOVA в популяциях 15 пород домашних коз России и Индии (*Capra hircus*), рассчитанные на основе анализа нуклеотидной последовательности митохондриального гена *CytB*

Table 2. Results of AMOVA in populations of 15 Russian and Indian domestic goat (*Capra hircus*) breeds, based on analysis of the mitochondrial cytochrome b (*CytB*) gene nucleotide sequence.

Источник вариаций	Степени свободы, d.f.	Сумма квадратов, SS	Компоненты дисперсии, VS	Процент вариации, V%
Межгрупповые различия	1	9,471	0,07978	5,93
Межпородные различия внутри группы	13	34,730	0,15913	11,82
Внутрипородные различия	140	155,044	1,10746	82,26
Общее	154	199,245	1,34636	

Результаты анализа AMOVA (таблица 2) демонстрируют наличие основной генетической дифференциации (82,26%) между особями внутри пород. Межпородные различия внутри двух основных групп (российские и зарубежные породы) вносят существенный, но меньший вклад (11,82%) в общую дисперсию. Наименьшая доля вариации (5,93%) обусловлена различиями между самими этими крупными группами, что указывает

на слабую генетическую дифференциацию между российскими и индийскими породами.

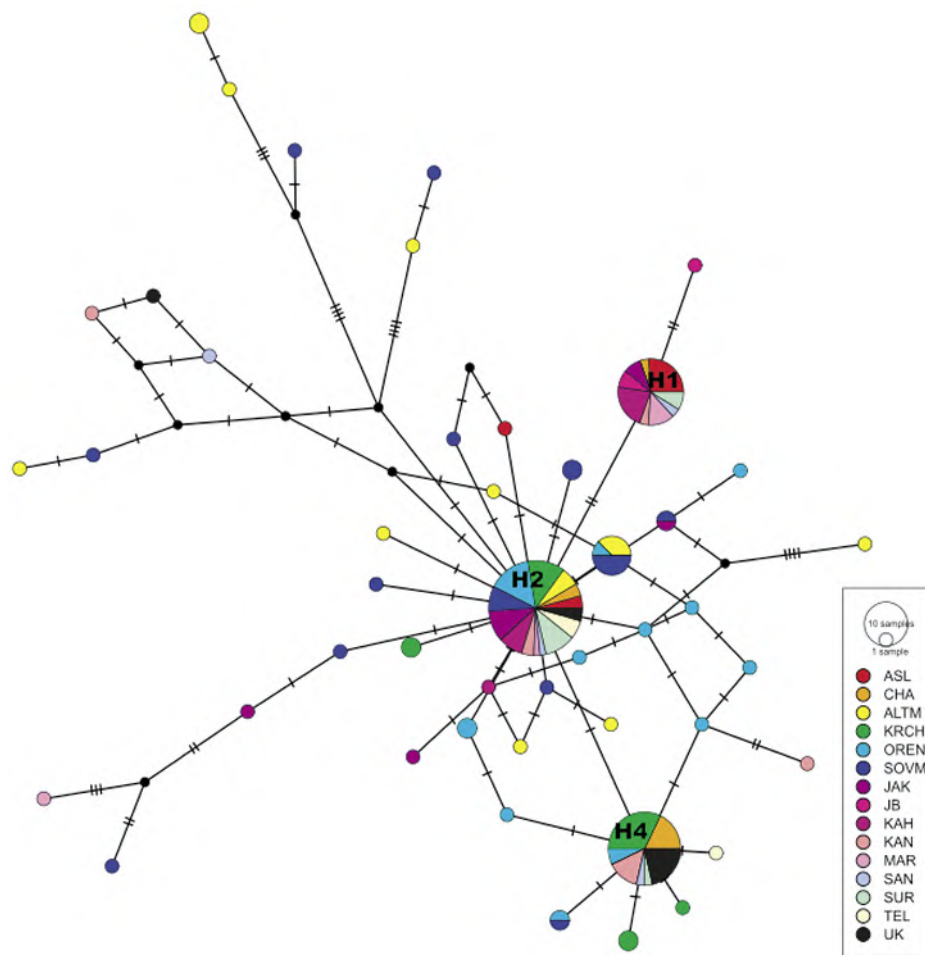
Результаты распределения генетической изменчивости (AMOVA) согласуются с данными других авторов, где также отмечается слабая филогеографическая структура коз Южной Индии, характерная для домашних коз (*Capra hircus*) [16].

На основании нуклеотидных последовательностей митохондриального гена *CytB* были построены

Рис. 2. Медианная сеть, характеризующая связи гаплотипов, идентифицированных у представителей 15 пород коз России и Индии

Fig. 2. Median-joining network illustrating the relationships among mitochondrial haplotypes identified in 15 Russian and Indian goat breeds.

Примечание. Российские породы: ALTM — горноалтайская пуховая, KRCH — карачаевская, OREN — оренбургская пуховая, SOVM — советская шерстная. Индийские породы: ASL — Assam Hill, CHA — Changthangi, JAK — Jakharana, JB — Jharkhand Black, KAH — Kalahandi, KAN — Kanni Adu, MAR — Marwari, SAN — Sangamneri, SUR — Surti, TEL — Tellicherry, UK — Uttarakhand local. Диаметр круга соответствует числу особей, принадлежащих к соответствующему гаплотипу. Число поперечных линий указывает на число нуклеотидных замен. Черные круги в точках ветвления сети обозначают гипотетические гаплотипы.



медианные сети гаплотипов, идентифицированные в изучаемых породах коз (рисунок 2), которые демонстрируют отсутствие филогеографической структуры.

Крупные центральные гаплотипы (H1, H2 и H4), вероятно, представляют собой предковые формы, общие для нескольких исследованных популяций. Популяции с высоким гаплотипическим разнообразием (ALTM, SOVM, MAR) образуют разветвленные кластеры с множественными производными гаплотипами. Популяции с низким генетическим разнообразием (TEL, UK, CHA) в структуре сети представлены минимальным набором гаплотипов, одним или двумя. Подобная звездообразная топология сети с центральными предковыми гаплотипами и множественными производными, наблюдаемая в нашем исследовании, характерна для популяций, переживших экспансию. Этот паттерн был описан, в частности, для индийских коз, где

Таблица 3. Распределение гаплогрупп среди исследуемых популяций коз

Table 3. Distribution of haplogroups among the studied goat populations

Популяции	Hap_A	Hap_B	Hap_C	Hap_D	Hap_G
ASL	3 гол (33,3 %)	6 гол (66,7 %)	–	–	–
CHA	7 гол (87,5 %)	1 гол (12,5 %)	–	–	–
JAK	8 гол (80,0 %)	2 гол (20,0 %)	–	–	–
JB	–	3 гол (100,0 %)	–	–	–
KAH	5 гол (50,0 %)	5 гол (50,0 %)	–	–	–
KAN	7 гол (77,8 %)	1 гол (11,1 %)	–	1 гол (11,1 %)	–
MAR	2 гол (40,0 %)	3 гол (60,0 %)	–	–	–
SAN	2 гол (50,0 %)	1 гол (25,0 %)	–	1 гол (25,0 %)	–
SUR	6 гол (75,0 %)	2 гол (25,0 %)	–	–	–
TEL	4 гол (100,0 %)	–	–	–	–
UK	8 гол (88,9 %)	–	–	1 гол (11,1 %)	–
ALTM	11 гол (68,75 %)	–	1 гол (6,25 %)	1 гол (6,25 %)	3 гол (18,75 %)
KRCH	20 гол (100,0 %)	–	–	–	–
OREN	20 гол (100,0 %)	–	–	–	–
SOVM	17 гол (85,0 %)	–	1 гол (5 %)	1 гол (5 %)	1 гол (5 %)
Российские породы	68 гол (89,5 %)	–	2 гол (2,6 %)	2 гол (2,6 %)	4 гол (5,3 %)
Индийские породы	52 гол (65,8 %)	24 гол (30,4 %)	–	3 гол (3,8 %)	–
Всего	120 гол (77,4 %)	24 гол (15,5 %)	2 гол (1,3 %)	5 гол (3,2 %)	4 гол (2,6 %)

Примечание: Hap_A — гаплогруппа A; Hap_B — гаплогруппа B; Hap_C — гаплогруппа C; Hap_D — гаплогруппа D; Hap_G — гаплогруппа G. Российские породы: ALTM — горноалтайская пуховая, KRCH — карачаевская, OREN — оренбургская пуховая, SOVM — советская шерстная. Индийские породы: ASL — Assam Hill, CHA — Changthangi, JAK — Jakharana, JB — Jharkhand Black, KAH — Kalahandi, KAN — Kanni Adu, MAR — Marwari, SAN — Sangamneri, SUR — Surti, TEL — Tellicherry, UK — Uttarakhand local.

он интерпретировался как признак демографического расширения популяции [16]. Таким образом, наличие общих узлов между удаленными популяциями может указывать не только на исторический поток генов, но и на общие процессы популяционной экспансии в прошлом.

Определение гаплогрупповой принадлежности с использованием программного обеспечения MitoToolPy выявило наличие в нашей выборке гаплогрупп A, B, C, D и G (Таблица 3). Доминирующей оказалась гаплогруппа A, которая обнаружена у 120 особей (77,4% от общего числа). На втором месте по распространенности находится гаплогруппа B (15,5%, 24 особи). Гаплогруппы C, D и G встречаются редко, составляя в сумме лишь 7,1% (11 особей). Выявленное доминирование гаплогруппы A согласуется с данными по другим регионам [23]. Например, в Южной Индии ее доля достигает 99,5% [15].

Анализ индийских пород в нашей выборке выявил наличие трех гаплогрупп: A, B и D. При этом гаплогруппа A сохраняет статус доминирующей с частотой 65,8%. Наблюдаемая картина полностью соотносится с выводами других исследований. В частности, масштабный анализ последовательностей D-петли митохондриальной ДНК также выявил у индийских коз наличие трех

гаплогрупп A, B и с доминированием (94,96%) гаплогруппы A [16]. Примечательно, что гаплогруппа B отсутствует в российских породах коз, что может говорить об ином происхождении индийских популяций.

Российские породы в нашем исследовании представлены наличием четырех гаплогрупп: A, C, D и G. Здесь также наблюдается абсолютное преобладание гаплогруппы A (89,5%). Полученное разнообразие и соотношение гаплогрупп согласуются с ранее опубликованными данными для российских пород [21].

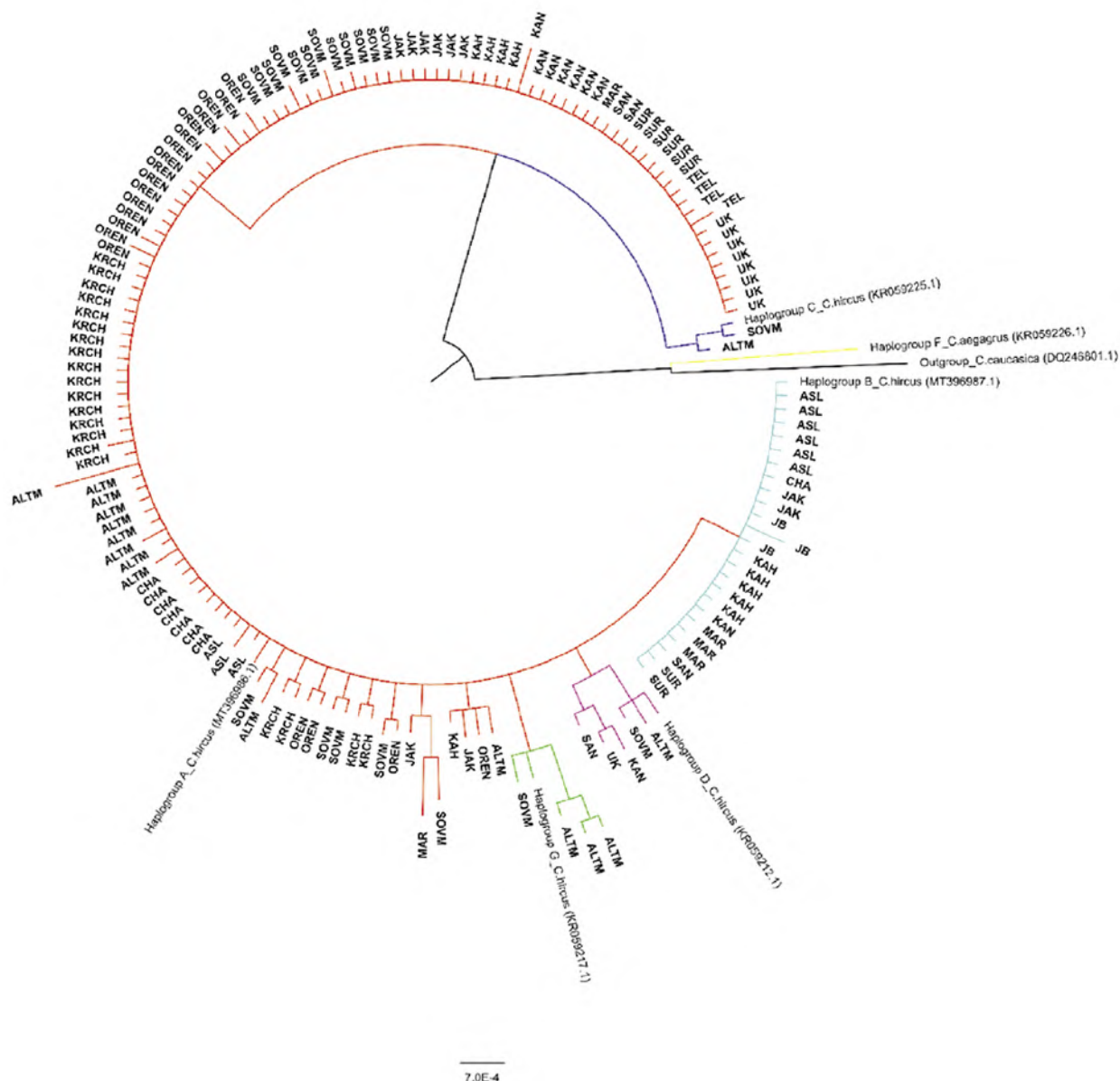
С целью визуализации гаплогрупповых отношений, выявленных в исследуемой выборке коз с помощью программы MrBayes 3.2.6, было построено байесовское филогенетическое дерево (рисунок 3).

Филогенетическое дерево, основанное на анализе последовательностей митохондриальной ДНК, демонстрирует отсутствие жесткой кластеризации коз по их породной или географической принадлежности. Исключением являются гаплогруппа B, обнаруженная лишь у индийских пород коз. Это указывает на широкий исторический обмен генами между популяциями, интенсивные миграционные процессы в ходе одомашнивания и распространения,

Рис. 3. Байесовское филогенетическое дерево, отражающее генетические связи представителей 15 пород коз России и Индии (*Capra hircus*) на основе анализа нуклеотидной последовательности митохондриального гена *CytB*

Fig. 3. Bayesian phylogenetic tree illustrating the genetic relationships among individuals from 15 Russian and Indian goat (*Capra hircus*) breeds based on analysis of the mitochondrial cytochrome b (*CytB*) gene nucleotide sequence.

Примечание. Российские породы: ALTM — горноалтайская пуховая, KRCH — карачаевская, OREN — оренбургская пуховая, SOVM — советская шерстная. Индийские породы: ASL — Assam Hill, CHA — Changthangi, JAK — Jakharana, JB — Jharkhand Black, KAH — Kalahandi, KAN — Kanni Adu, MAR — Marwari, SAN — Sangamneri, SUR — Surti, TEL — Tellicherry, UK — Uttarakhand local.



а также возможное многократное смешение генетических линий. Такая картина характерна для видов с высокой миграционной активностью и длительной историей одомашнивания, сопровождавшейся перемещением животных между регионами.

Выводы/Conclusions

На основании проведенного сравнительного анализа полиморфизма митохондриального гена *CytB* у 15 пород коз России и Индии можно сделать следующие выводы:

Выявленное несоответствие между сходным уровнем гаплотипического ($H_d = 0,902$ и $0,760$

у российских и индийских пород) и различающимся уровнем нуклеотидного разнообразия ($\pi = 0,00260$ у российских против $\pi = 0,00176$ у индийских пород коз) указывает на разные демографические сценарии развития козоводства в двух странах. Индийские породы, при общем богатстве линий, прошли через этапы более интенсивной дифференциации или отбора, что привело к снижению средних генетических дистанций между гаплотипами. Российские породы, напротив, демонстрируют признаки более длительной и независимой эволюции материнских линий в условиях меньшего селективного давления.

Выявлены значительные различия в уровне генетического разнообразия между отдельными породами внутри регионов. Среди российских пород максимальное разнообразие показала горноалтайская (ALTM), а минимальное — караевская (KRCH). Среди индийских пород выделяются высокополиморфные популяции (MAR, KAN, SAN) и генетически однородные (TEL, UK), что отражает различную историю их формирования, интенсивность отбора и возможные «бутылочные горлышки».

Доминирующей митохондриальной гаплогруппой в обеих группах пород является гаплогруппа А (77,4% в общей выборке). При этом ее частота у российских пород достигает 89,5%, а у индийских — 65,8%. Гаплогруппа В обнаружена исключительно у индийских пород (30,4%), что указывает на различный материнский вклад в формирование генофондов и подтверждает сложную историю одомашнивания и миграций коз в Азии.

Филогенетический анализ не выявил жесткой кластеризации особей по географическому или породному принципу, за исключением обособления

гаплогруппы В. Это свидетельствует об интенсивном историческом потоке генов и общности происхождения исследованных популяций.

Результаты AMOVA подтвердили, что основная часть генетической изменчивости (82,26%) сосредоточена на внутривидовом уровне. Генетические различия между российскими и индийскими породами как группами минимальны (5,93%), что указывает на их слабую дифференциацию по митохондриальной ДНК и подтверждает гипотезу об общих корнях и активном историческом обмене.

Исследование подтвердило высокую информативность гена *Cytb*, как консервативного маркера для филогенетических и популяционно-генетических исследований коз, результаты которого согласуются с данными, полученными при анализе гипервариабельного региона D-петли.

Таким образом, проведенное исследование расширяет знания о генетическом разнообразии и филогенетических связях локальных пород коз Евразии, предоставляя важные данные для программ сохранения их генетических ресурсов и понимания истории доместикизации.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено за счет гранта № 24-46-02012 Российского научного фонда (<https://rscf.ru/project/24-46-02012/>)

FUNDING:

The research was supported by grant No. 24-46-02012 of the Russian Science Foundation (<https://rscf.ru/project/24-46-02012/>)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- MacHugh D.E., Bradley D.G. Livestock genetic origins: Goats buck the trend. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001; 98(10): 5382–5384. <https://doi.org/10.1073/pnas.111163198>
- Joshi M.B., Rout P.K., Mandal A.K., Tyler-Smith C., Singh L., Thangaraj K. Phylogeography and Origin of Indian Domestic Goats. *Molecular Biology and Evolution*. 2004; 21(3): 454–462. <https://doi.org/10.1093/molbev/msh038>
- Ahlawat S., Sharma R. Nuclear and Mitochondrial Marker-Based Diversity and Population Structuring of Indian Goats. Simões J., Gutiérrez C. (eds.). *Sustainable Goat Production in Adverse Environments*. Cham: Springer. 2017; 1: 489–507. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71855-2_28
- Кошкина О.А. и др. Оценка материнской изменчивости российских локальных пород овец на основе анализа полиморфизма гена цитохрома b. *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(6): 1134–1147. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1134rus>
- Saeed B., Yousief M.Y., Abdulrda A.J., Ayied A.Y. Study of Local Black Iraqi Goats Genotypes for the *Cytb* Gene. *Archives of Razi Institute*. 2023; 78(3): 915–921. <https://doi.org/10.22092/ARI.2022.359888.2499>
- Naderi S. *et al.* The goat domestication process inferred from large-scale mitochondrial DNA analysis of wild and domestic individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008; 105(46): 17659–17664. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804782105>
- Colli L. *et al.* Whole mitochondrial genomes unveil the impact of domestication on goat matrilineal variability. *BMC Genomics*. 2015; 16(1): 1115. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2342-2>
- Sardina M.T. *et al.* Phylogenetic analysis of Sicilian goats reveals a new mtDNA lineage. *Animal Genetics*. 2006; 37(4): 376–378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2006.01451.x>

REFERENCES

- MacHugh D.E., Bradley D.G. Livestock genetic origins: Goats buck the trend. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001; 98(10): 5382–5384. <https://doi.org/10.1073/pnas.111163198>
- Joshi M.B., Rout P.K., Mandal A.K., Tyler-Smith C., Singh L., Thangaraj K. Phylogeography and Origin of Indian Domestic Goats. *Molecular Biology and Evolution*. 2004; 21(3): 454–462. <https://doi.org/10.1093/molbev/msh038>
- Ahlawat S., Sharma R. Nuclear and Mitochondrial Marker-Based Diversity and Population Structuring of Indian Goats. Simões J., Gutiérrez C. (eds.). *Sustainable Goat Production in Adverse Environments*. Cham: Springer. 2017; 1: 489–507. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71855-2_28
- Koshkina O.A. *et al.* A study of maternal variability of Russian local sheep breeds based on analysis of cytochrome b gene polymorphism. *Agricultural Biology*. 2021; 56(6): 1134–1147. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1134eng>
- Saeed B., Yousief M.Y., Abdulrda A.J., Ayied A.Y. Study of Local Black Iraqi Goats Genotypes for the *Cytb* Gene. *Archives of Razi Institute*. 2023; 78(3): 915–921. <https://doi.org/10.22092/ARI.2022.359888.2499>
- Naderi S. *et al.* The goat domestication process inferred from large-scale mitochondrial DNA analysis of wild and domestic individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008; 105(46): 17659–17664. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804782105>
- Colli L. *et al.* Whole mitochondrial genomes unveil the impact of domestication on goat matrilineal variability. *BMC Genomics*. 2015; 16(1): 1115. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2342-2>
- Sardina M.T. *et al.* Phylogenetic analysis of Sicilian goats reveals a new mtDNA lineage. *Animal Genetics*. 2006; 37(4): 376–378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2006.01451.x>

9. Masuko R. *et al.* Maternal and paternal lineage analysis of Island Southeast Asian goats reveals continental propagation routes and introgression through the Indian ocean. *Scientific reports*. 2025; 15: 9411. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93651-9>

10. Naderi S. *et al.* Large-Scale Mitochondrial DNA Analysis of the Domestic Goat Reveals Six Haplogroups with High Diversity. *PLOS One*. 2007; 2(10): e1012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001012>

11. Chen S.-Y., Su Y.-H., Wu S.-F., Sha T., Zhang Y.-P. Mitochondrial diversity and phylogeographic structure of Chinese domestic goats. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2005; 37(3): 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2005.06.014>

12. Luikart G., Gielly L., Excoffier L., Vigne J.D., Bouvet J., Taberlet P. Multiple maternal origins and weak phylogeographic structure in domestic goats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001; 98(10): 5927–5932. <https://doi.org/10.1073/pnas.091591198>

13. Liu R.-Y., Yang G.-S., Lei C.-Z. The Genetic Diversity of mtDNA D-loop and the Origin of Chinese Goats. *Acta Genetica Sinica*. 2006; 33(5): 420–428. [https://doi.org/10.1016/S0379-4172\(06\)60069-3](https://doi.org/10.1016/S0379-4172(06)60069-3)

14. Zeder M.A., Hesse B. The Initial Domestication of Goats (*Capra hircus*) in the Zagros Mountains 10,000 Years Ago. *Science*. 2000; 287(5461): 2254–2257. <https://doi.org/10.1126/science.287.5461.2254>

15. Kamalakkannan R., Jose J., Thomas S., Prabhu V.R., Nagarajan M. Genetic diversity and maternal lineages of south Indian goats. *Molecular Biology Reports*. 2018; 45(6): 2741–2748. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4322-5>

16. Diwedi J. *et al.* Comprehensive analysis of mitochondrial DNA based genetic diversity in Indian goats. *Gene*. 2020; 756: 144910. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.144910>

17. Абдельманова А.С. и др. Оценка динамики генетического разнообразия популяций оренбургской породы коз с использованием микросателлитных маркеров. *Достижения науки и техники АПК*. 2024; 38(9): 50–56. EDN RNHIGS

18. Кошкина О.А. и др. Идентификация полиморфных SNP в генах *IGF2BP2* и *BMPRI1B* у оренбургской и карачаевской пород коз. *Аграрная наука*. 2025; (9): 62–68. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-62-68>

19. Сермягин А.А. и др. Идентификация SNPs для показателей роста и развития коз (*Capra hircus* Linnaeus, 1758) из ресурсной популяции в возрастной динамике. *Сельскохозяйственная биология*. 2024; 59(4): 633–648. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2024.4.633rus>

20. Deniskova T.E. *et al.* Genetic Diversity in the Orenburg Goat Breed Revealed by Single-Nucleotide Polymorphism (SNP) Analysis: Initial Steps in Saving a Threatened Population. *Genes*. 2024; 15(11): 1375. <https://doi.org/10.3390/genes15111375>

21. Deniskova T., Bakoev N., Dotsev A., Selionova M., Zinovieva N. Maternal Origins and Haplotype Diversity of Seven Russian Goat Populations Based on the D-loop Sequence Variability. *Animals*. 2020; 10(9): 1603. <https://doi.org/10.3390/ani10091603>

22. Masuko R. *et al.* Comprehensive Phylogeographic Analysis Using mtDNA, SRY, and SNPs Markers Revealed Genetic Influence on Kyrgyzstan Goats via the Eurasian Steppe and the Oasis Routes. *Animal Science Journal*. 2025; 96(1): e70135. <https://doi.org/10.1111/asj.70135>

23. De A.K. *et al.* Peeping into Mitochondrial Diversity of Andaman Goats: Unveils Possibility of Maritime Transport with Diversified Geographic Signaling. *Genes*. 2023; 14(4): 784. <https://doi.org/10.3390/genes14040784>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Андреевна Кошкина

кандидат биологических наук, научный сотрудник
i@koshkina-8.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Татьяна Евгеньевна Денискова

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
horarka@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

9. Masuko R. *et al.* Maternal and paternal lineage analysis of Island Southeast Asian goats reveals continental propagation routes and introgression through the Indian ocean. *Scientific reports*. 2025; 15: 9411. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93651-9>

10. Naderi S. *et al.* Large-Scale Mitochondrial DNA Analysis of the Domestic Goat Reveals Six Haplogroups with High Diversity. *PLOS One*. 2007; 2(10): e1012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001012>

11. Chen S.-Y., Su Y.-H., Wu S.-F., Sha T., Zhang Y.-P. Mitochondrial diversity and phylogeographic structure of Chinese domestic goats. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2005; 37(3): 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2005.06.014>

12. Luikart G., Gielly L., Excoffier L., Vigne J.D., Bouvet J., Taberlet P. Multiple maternal origins and weak phylogeographic structure in domestic goats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001; 98(10): 5927–5932. <https://doi.org/10.1073/pnas.091591198>

13. Liu R.-Y., Yang G.-S., Lei C.-Z. The Genetic Diversity of mtDNA D-loop and the Origin of Chinese Goats. *Acta Genetica Sinica*. 2006; 33(5): 420–428. [https://doi.org/10.1016/S0379-4172\(06\)60069-3](https://doi.org/10.1016/S0379-4172(06)60069-3)

14. Zeder M.A., Hesse B. The Initial Domestication of Goats (*Capra hircus*) in the Zagros Mountains 10,000 Years Ago. *Science*. 2000; 287(5461): 2254–2257. <https://doi.org/10.1126/science.287.5461.2254>

15. Kamalakkannan R., Jose J., Thomas S., Prabhu V.R., Nagarajan M. Genetic diversity and maternal lineages of south Indian goats. *Molecular Biology Reports*. 2018; 45(6): 2741–2748. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4322-5>

16. Diwedi J. *et al.* Comprehensive analysis of mitochondrial DNA based genetic diversity in Indian goats. *Gene*. 2020; 756: 144910. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.144910>

17. Abdelmanova A.S. *et al.* Assessment of the dynamics of genetic diversity of Orenburg goat breed populations by microsatellite markers. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2024; 38(9): 50–56 (in Russian). EDN RNHIGS

18. Koshkina O.A. *et al.* Identification of polymorphic SNPs in *IGF2BP2* and *BMPRI1B* genes in Orenburg and Karachaev breeds of goats. *Agrarian science*. 2025; (9): 62–68 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-62-68>

19. Sermyagin A.A. *et al.* Identification of SNPs associated with growth and development traits of goats (*Capra hircus* Linnaeus, 1758) from the resource population in age dynamics. *Agricultural Biology*. 2024; 59(4): 633–648. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2024.4.633eng>

20. Deniskova T.E. *et al.* Genetic Diversity in the Orenburg Goat Breed Revealed by Single-Nucleotide Polymorphism (SNP) Analysis: Initial Steps in Saving a Threatened Population. *Genes*. 2024; 15(11): 1375. <https://doi.org/10.3390/genes15111375>

21. Deniskova T., Bakoev N., Dotsev A., Selionova M., Zinovieva N. Maternal Origins and Haplotype Diversity of Seven Russian Goat Populations Based on the D-loop Sequence Variability. *Animals*. 2020; 10(9): 1603. <https://doi.org/10.3390/ani10091603>

22. Masuko R. *et al.* Comprehensive Phylogeographic Analysis Using mtDNA, SRY, and SNPs Markers Revealed Genetic Influence on Kyrgyzstan Goats via the Eurasian Steppe and the Oasis Routes. *Animal Science Journal*. 2025; 96(1): e70135. <https://doi.org/10.1111/asj.70135>

23. De A.K. *et al.* Peeping into Mitochondrial Diversity of Andaman Goats: Unveils Possibility of Maritime Transport with Diversified Geographic Signaling. *Genes*. 2023; 14(4): 784. <https://doi.org/10.3390/genes14040784>

ABOUT THE AUTHORS

Olga Andreevna Koshkina

Candidate of Biological Sciences, Researcher
i@koshkina-8.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>

Tatiana Evgenievna Deniskova

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
horarka@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

Надежда Александровна Чурбакова
аспирант
churbakova.nadezda@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1061-2715>

Анастасия Дмитриевна Соловьева
младший научный сотрудник;
anastasiya93@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

Арсен Владимирович Доцев
кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник
arsendotsev@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3418-2511>

Наталья Анатольевна Зиновьева
доктор биологических наук, профессор, академик
Российской академии наук
n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, дом 60, г.о. Подольск, Московская обл.,
142132, Россия

Nadezhda Aleksandrovna Churbakova
Postgraduate
churbakova.nadezda@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1061-2715>

Anastasiya Dmitrievna Solovieva,
Junior Researcher;
anastasiya93@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

Arsen Vladimirovich Dotsev
Candidate of Biological Sciences,
Leading Researcher
arsendotsev@vij.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3418-2511>

Natalia Anatolievna Zinovieva
Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician
of the Russian Academy of Sciences
n_zinovieva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,
60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region,
142132, Russia



У МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЕТЕРИНАРНЫЙ ФОРУМ ПО СВИНОВОДСТВУ

24–25 июня 2026 г.

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

Организаторы:

- Международная промышленная академия
- Национальный союз свиноводов

Основные вопросы для обсуждения:

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

В рамках форума предусмотрены:

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

Формат проведения:

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

Место проведения:

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

Справки и заявки:

Международная промышленная академия
Зав. кафедрой отраслей животноводства и комбикормового производства, профессор Щербак О.Е.,
тел. (495) 959-71-06, scherbakovae@grainfood.ru
Доцент кафедры отраслей животноводства и комбикормового производства Агеева К.М., тел. (499) 235-48-27,
a8905777955@yandex.ru

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

Национальный союз свиноводов:

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

УДК 633.13:631.51:631.8 (470.331)

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-114-122

А.С. Васильев ✉

И.А. Кудласевич

Ю.Т. Фаринюк

Тверская государственная
сельскохозяйственная академия,
Тверь, Россия

✉ vasilevtgsha@mail.ru

Поступила в редакцию: 05.03.2026

Одобрена после рецензирования: 15.05.2026

Принята к публикации: 29.05.2026

© Васильев А.С., Кудласевич И.А.,
Фаринюк Ю.Т.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-114-122

Alexander S. Vasiliev ✉

Ivan A. Kudlasevich

Yuri T. Farinyuk

Tver State Agricultural Academy, Tver,
Russia

✉ vasilevtgsha@mail.ru

Received by the editorial office: 05.03.2026

Accepted in revised: 15.05.2026

Accepted for publication: 29.05.2026

© Vasiliev A.S., Kudlasevich I.A.,
Farinyuk Yu.T.

Влияние средств механизации для обработки почвы на ее характеристики и продуктивность овса

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Развитие средств механизации, а также создание новых высокопродуктивных сортовых ресурсов требуют своевременной адаптации агротехнологий, что возможно только за счет проведения специальных научных исследований в условиях максимально приближенных к производственным. Целью работы являлось изучение влияния различных средств механизации для пред- и послепосевной обработки дерново-подзолистой супесчаной почвы на ее характеристики и продуктивность овса.

Методика. Исследования выполнялись на опытно-производственной базе УНИПЦ «Агротехнопарк» Тверской ГСХА, г. Тверь в 2023–2025 гг. Объект исследований — овес посевной сорта Яков. Все работы выполнялись в полном соответствии с актуальной нормативно-методической документацией, математическая обработка с использованием программного комплекса MS Excel (США).

Результаты. Установлено, что максимальная в опыте урожайность овса, равная 2,34 т/га, сформировалась при системе обработки почвы, включающей КБМ-6НУ (перед посевом) и ЗККШ-6 (после посева). В разрезе роста отклика овса машины для предпосевной обработки разместились следующим образом: КПС-4,0+БЗСС-1,0 → АКШ-3,6 → КБМ-6НУ, послепосевной: КВГ-1,4 → ЗККШ-6. Применение только предпосевной обработки агрегатом КБМ-6НУ обеспечило урожайность зерна овса на уровне 2,12 т/га, что было на 24,0% выше, чем при обработке КПС-4,0+БЗСС-1,0 и на 8,2% больше, чем АКШ-3,6. Прикатывание почвы после посева повышало урожайность овса на 4,6–7,0% при применении КВГ-1,4 и 8,7 — 14,2% — ЗККШ-6. Сформированные прибавки урожайности стали следствием эффективной рационализации системы обработки почвы, обеспечившей оптимизацию ее структурно-агрегатного состава, улучшение гидрорежима, повышение полевой всхожести семян овса и снижение засоренности всходов.

Ключевые слова: дерново-подзолистая супесчаная почва, пред- и послепосевная обработка почвы, средства механизации, влажность почвы, физические свойства почвы, засоренность, урожайность зерна

Для цитирования: Васильев А.С., Кудласевич И.А., Фаринюк Ю.Т. Влияние средств механизации для обработки почвы на ее характеристики и продуктивность овса. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 114–122.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-114-122>

The influence of mechanization tools for tillage on its characteristics and productivity of oats

ABSTRACT

Relevance. The development of mechanization tools, as well as the creation of new highly productive variety resources, require timely adaptation of agricultural technologies, which is possible only through special scientific research in conditions as close as possible to production conditions. The aim of the work was to study the effect of various means of mechanization for pre- and post-sowing treatment of sod-podzolic sandy loam soil on its characteristics and productivity of oats.

Methodology. The research was carried out at the pilot production base of the Educational scientific-Innovative Production Center Agrotechnopark of the Tver State Agricultural Academy, Tver in 2023–2025. The object of research is oats of the Yakov variety. All work was performed in full compliance with the current regulatory and methodological documentation, mathematical processing using the MS Excel software package (USA).

Results. It was found that the maximum experimental yield of oats, equal to 2.34 t/ha, was formed with a soil treatment system including KBM-6H (before sowing) and ZKSH-6 (after sowing). In terms of the growth of the oat response, the machines for pre-sowing processing were placed as follows: KPS-4.0+BZSS-1.0 → AKSh-3.6 → KBM-6NU, post-sowing: KVG-1.4 → ZKSH-6. The use of only pre-sowing treatment with the KBM-6NU unit ensured the yield of oat grain at the level of 2.12 t/ha, which was 24.0% higher than with KPS-4.0+BZSS-1.0 and 8.2% higher than AKSh-3.6. Rolling the soil after sowing increased the yield of oats by 4.6 — 7.0% when using KVG-1.4 and 8.7 — 14.2% — ZKSH-6. The resulting yield increases resulted from the effective rationalization of the tillage system, which ensured the optimization of its structural and aggregate composition, improved hydraulic regime, increased field germination of oat seeds and reduced clogging of seedlings.

Key words: sod-podzolic sandy loam soil, pre- and post-sowing tillage, means of mechanization, soil moisture, physical properties of the soil, contamination, grain yield

For citation: Vasiliev A.S., Kudlasevich I.A., Farinyuk Yu.T. The influence of mechanization tools for tillage on its characteristics and productivity of oats. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 114–122 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-114-122>

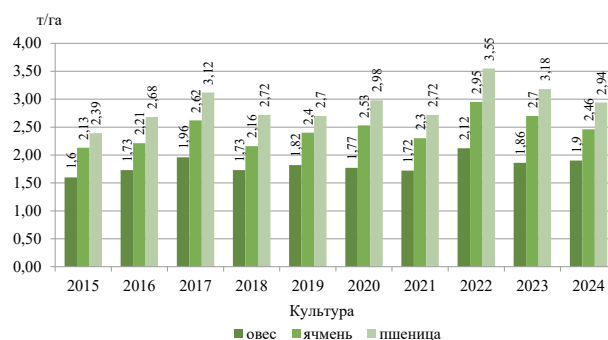
Введение/Introduction

Овес посевной (*Avena sativa* L.) является ценной высокопродуктивной сельскохозяйственной культурой разностороннего использования [1–3]. По данным Росстата¹, по состоянию на 2025 год посевная площадь овса в РФ составляла 1,72 млн га (около 2,2% от общего объема посевов сельскохозяйственных культур) со средней урожайностью 2,27 т/га. Для сравнения урожайность других зерновых культур имела следующие значения: пшеница — 3,15, тритикале — 2,31, ячмень — 3,01, рожь — 2,42 т/га. В разрезе выборки последних лет урожайность основных хлебов I группы имела в целом положительную тенденцию, представленную на рисунке 1, что объясняется преимущественно комплексным развитием селекционной науки и технологического обеспечения. Непосредственно в Тверской области, по данным предварительного учета, урожайность овса составила 1,38 т/га, что на 39,2% ниже среднероссийских показателей и на 44,8% ниже средней урожайности по ЦФО (2,50 т/га). Причинами низкой урожайности являются частый высев овса на малоплодородных почвах и при освоении залежных земель, а также использование его в качестве заключительной (санитарной) культуры в севооборотах (в особенности, насыщенных зерновыми культурами) [4–6]. Эта закономерность объясняется, главным образом, агробиологическими особенностями растений овса, выраженными в формировании мощной мочковатой корневой системы с большим количеством длинных корневых волосков, что позволяет более полноценно усваивать элементы питания и влагу из почвы [7–9]. При этом важнейшим фактором создания высокопродуктивных агрофитоценозов овса посевного является качественная обработка почвы, в особенности на этапе «стартового» развития растений, охватывающего прорастание семян и фазу всходы (при переходе от гетеротрофного питания к автотрофному), что обеспечивается преимущественно за счет качественных предпосевных и послепосевных почвенных обработок [10]. Данные обработки критически важны для обеспечения дружных всходов овса, борьбы с сорняками, оптимизации водно-воздушного режима зоны семенного ложа [11]. Традиционно для дерново-подзолистых почв Верхневолжья в системе весенней обработки почвы рекомендуется проведение культивации с боронованием. Однако появление новых комбинированных многофункциональных почвообрабатывающих средств механизации позволяет оптимизировать подготовку почвы, улучшить ее агрофизические характеристики [12–14].

Не менее важным является сбалансированное средоулучшающее послепосевное воздействие

Рис. 1. Урожайность зерновых культур в РФ за период 2015–2024 гг.²

Fig. 2. Grain yields in the Russian Federation for the period 2015–2024



на почву, так как зачастую при интенсивной предпосевной обработке наблюдается нарушение капиллярной структуры поверхностного слоя почвы и существенное ухудшение его гидротермического режима [15, 16]. В этот период для получения дружных всходов необходимо оперативно повысить контакт высеванных семян с почвенными агрегатами для усиления обеспеченности зоны семенного ложа влагой и питательными веществами [17]. Одной из основных технологических операций для нивелирования обозначенных факторов является послепосевное прикатывание, осуществляемое сельскохозяйственными машинами с различными ротационными рабочими органами — катками, обладающими разнообразными характеристиками и, как следствие, интенсивностью воздействия на почвенную среду [18, 19].

Исследования последних лет по оптимизации технологий возделывания овса довольно обширны [4, 20–25], однако, развитие средств механизации, а также создание новых высокопродуктивных сортов [1, 26] требуют своевременной адаптации агротехнологий, что возможно только за счет проведения специальных научных исследований в условиях максимально приближенных к производственным.

Целью работы являлось изучение влияния различных средств механизации для пред- и послепосевной обработки дерново-подзолистой супесчаной почвы на ее характеристики и продуктивность овса.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполнялись на опытно-производственной базе УНИПЦ «Агротехнопарк» Тверской ГСХА, г. Тверь в 2023–2025 гг. Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая супесчаная. Характеристики почвы до закладки опытов: гумус

¹ Бюллетень «Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2025 году (предварительные данные)».

URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277%7Cpattern=%5Ehttps%3A%2F%2F%7Creplace=%7Cplain%3Dfalse%7D%7D%7Cpattern%3D%5Eftp%3A%2F%2F%7Creplace%3D%7Cplain%3Dfalse%7D%7D%7Chttps%3A%2F%2Frosstat.gov.ru%2Fcompendium%2Fdocument%2F13277%7C%7D%7D%7B%7B&print=1>

² Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Растениеводство.

URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy

1,98% (ГОСТ 26213-2021³), pH_{сол. вытяжки} = 5,6 ед. (ГОСТ 26483-85⁴), K₂O = 89 мг/кг, P₂O₅ = 387 мг/кг (ГОСТ Р 54650-2011⁵), N (по Корнфилду) = 75,8 мг/кг⁶.

Объект исследований — сорт овса посевного Яков (ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка»), включенный в Госреестр⁷ по Северо-Западному региону в 2010 году. Сорт среднеспелый, разновидность *mutica*, устойчивость растений к полеганию выше средней.

Схема опыта включала факторы: А — средство механизации для предпосевной обработки почвы: А₁ — КПС-4,0+БЗСС-1,0 (ПАО «Грязинский культиваторный завод», Россия) (контроль), А₂ — КБМ-6НУ (АО «ПК «Ярославич», Россия), А₃ — АКШ-3,6 (ПОО «Техмаш», Республика Беларусь); В — средство механизации для послепосевной обработки почвы: В₁ — без обработки (БО), В₂ — каток водоналивной гладкий КВГ-1,4 (ОАО РЗ «Восточный», Россия) (КВГ), В₃ — кольчато-шпоровый каток ЗКШ-6 (ООО ПО «Завод Бежецксельмаш», Россия) (ККШ). Рабочие органы машин для обработки почвы перед посевом представлены на рисунке 2.

Размер лап машины КПС-4,0 составлял 270 мм, КБМ-6НУ и АКШ-3,6 — 40 мм. Глубина предпосевной обработки, равная глубине заделки семян, составляла 40 мм.

Размещение вариантов в опыте методом расщепленных делянок, повторность трехкратная, учетная площадь делянки 57,6 м².

Технология возделывания овса: предшественник — яровая пшеница; осенняя обработка почвы включала: дискование бороной БДТ-3,0 (ОАО «Лидсельмаш», Республика Беларусь), отвальную вспашку оборотным плугом ПОН-4+1

(ЗАО «Рубцовский завод запасных частей», Россия); рано весной — при наступлении физической спелости почвы проводилось боронование машиной БЗСС-1,0 (ПАО «Грязинский культиваторный завод», Россия); под предпосевную обработку почвы общим фоном вносилось комплексное минеральное удобрение (азофоска) в дозе N₁₅P₁₅K₁₅ машиной МВУ-1100 (ООО «АГРО-ТЕХ», Россия); обработка почвы до и после посева — согласно схеме опыта; посев сеялкой СПУ-3 (ОАО «Лидагропроммаш», Республика Беларусь) с глубиной заделки семян 40 мм при норме высева 5,5 млн всхожих семян/га (категория семян РС⁸); в фазе кущения общим фоном применялось азотное удобрение (аммиачная селитра) в дозе 45 кг д.в./га при помощи машины МВУ-1100, а также проводилась гербицидная обработка препаратом Фенизан, ВР⁹ (АО «Щелково Агрохим», Россия) с нормой применения препарата 0,2 л/га с расходом рабочей жидкости 300 л/га машиной ОПШ-18-2500 (ООО «Сальксельмаш», Россия); учет и уборка урожая зерна овса комбайном TERRION SR2010 (АО «Агротехмаш», Россия).

Агроклиматические условия периодов вегетации растений овса за 2023–2025 годы имели различные характеристики по влаго- и теплообеспеченности, что способствует более детальной оценке свойств объектов воздействия при метеорологических флуктуациях. Так, по данным МС Тверь¹⁰ по годам исследований за период посев-уборка значения показателей Σt > 10 °С, Σ осадков, ГТК по Селянинову распределились следующим образом: 2023 — 1786,6° (103,1%

Рис. 2. Состав рабочих органов сельскохозяйственных машин, используемых для обработки почвы перед посевом овса
Fig. 2. The composition of the working bodies of agricultural machines used for tillage before sowing oats



³ ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества.

⁴ ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

⁵ ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

⁶ Методические указания по определению щелочногидролизуемого азота в почве по методу Корнфилда. М.: ЦИНАО. 1985; 9.

⁷ Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию.

<https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsonnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy/yakov-oves-yarovoy/>.

⁸ ГОСТ Р 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия.

⁹ Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Раздел Пестициды. М. 2016; 1645.

<https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/>.

¹⁰ Агрометеорологический бюллетень по Тверской области. Тверь: Тверской ЦГМС-филиал ФГБУ «Центральное УГМС». 2023-2025.

от нормы), 235,5 мм (90,0% от нормы), 1,32 ед. (87,3% от нормы); 2024 — 1850,7° (112,1% от нормы), 235,4 мм (93,3% от нормы), 1,27 ед. (83,2% от нормы); 2025 — 1810,9° (106,4% от нормы), 370,2 мм (141,9% от нормы), 2,04 ед. (133,4% от нормы).

Отдельно был выполнен климаграммный анализ агрометеорологических условий по методике Н. Walter¹¹, который показал, что наиболее благоприятными параметрами для роста и развития растений овса отличался 2025 год, когда период с апреля по июль был достаточно обеспечен влагой и не ограничивал органогенез растений (рис. 3). В остальные годы, на этапе начального развития, наблюдались периоды дефицитного увлажнения, отрицательно сказавшиеся на ходе продукционного процесса.

Исследования выполнялись по следующим методикам: структурно-агрегатный состав и коэффициент структурности ($K_{стр.}$) почвы — по методу Н.И. Саввинова¹²; плотность, влажность почвы — ГОСТ 20915-2011¹³; полевая всхожесть — ГОСТ 31345-2017¹⁴; засоренность агрофитоценозов — количественным методом¹⁵; учет урожайности — по методике госсортоиспытания¹⁶.

Математическая обработка экспериментальных данных проводилась по методике Б.А. Доспехова¹⁷ с использованием программного комплекса MS Excel (США).

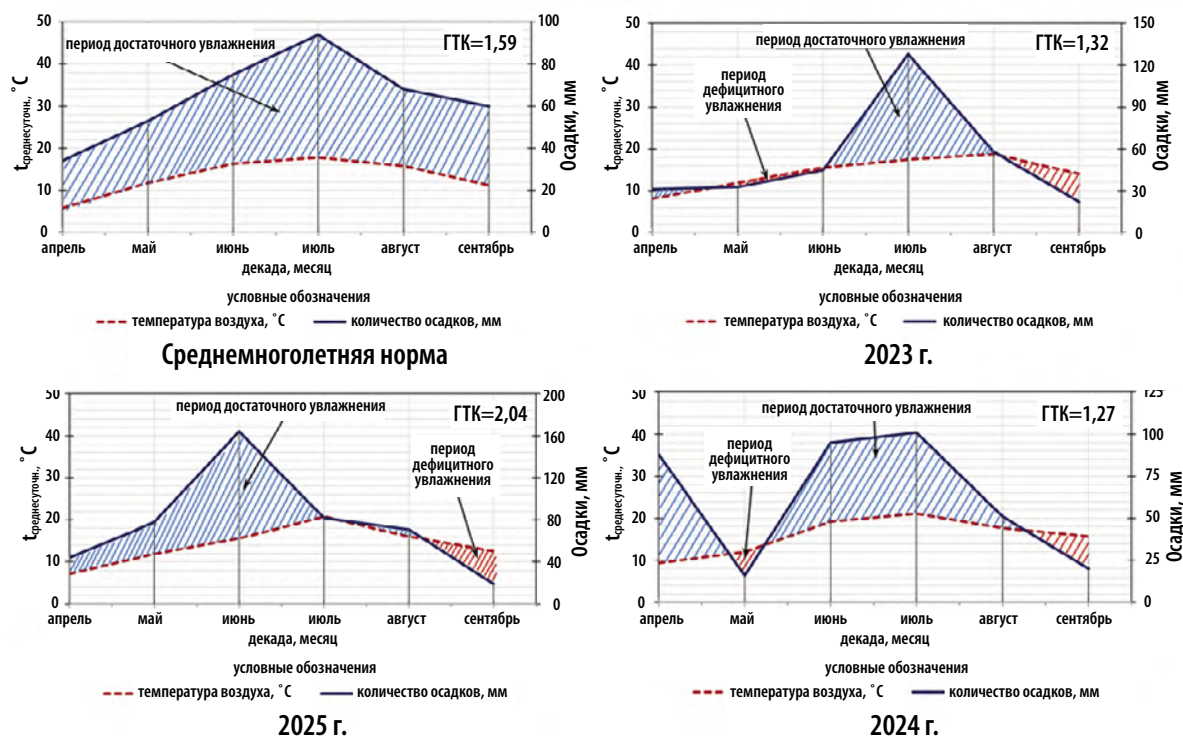
Результаты и обсуждение / Results and discussion

В первую очередь, воздействие почвообрабатывающих машин связано с изменением гидро- и агрофизических характеристик объекта воздействия — почвенной среды. Так, исследованиями выявлено, что трансформация интенсивности предпосевной обработки почвы за счет применения различных средств механизации оказывала разнонаправленное воздействие на влажность почвы (рис. 4). Наиболее высокие значения влажности, как в слое 0–10, так и в слое 10–20 см, сформировались при использовании комбинированных агрегатов с ротационными рабочими органами — КБМ-6НУ и АКШ-3,6, которые по сравнению с КПС-4,0+БЗСС-1,0 возрастали соответственно на 8,3 и 7,1% (слой 0–10 см), 3,8 и 2,5% (слой 10–20 см). Данная закономерность определяется, прежде всего, уплотняющим эффектом катковых рабочих органов, секциями которых оборудованы примененные в опытах машины.

В то же время стоит выделить значительную положительную роль послепосевного прикатывания, которое позволило быстрее восстановить капиллярную структуру почвы и улучшить влагообеспеченность верхнего слоя пахотного горизонта. Наибольшей эффективностью оно отличалось на фоне культивации с боронованием, выполненной

Рис. 3. Климатграммы периодов вегетации в годы исследований

Fig. 3. Climagrams of vegetation periods during the years of research



¹¹ Walter H. Klimagramme als Mittel zur ökologischen, vegetationsrundliche und landwirtschaftliche zwecke. Berlin, dt. Ges. 1955; 68:42-51.

¹² Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат. 1986; 416.

¹³ ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытания.

¹⁴ ГОСТ 31345-2017 Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний.

¹⁵ Васильев И.П., Туликов А.М., Баздырев Г.И., Захаренко А.В., Сафонов А.Ф. Практикум по земледелию. М.: КолосС. 2004; 424.

¹⁶ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып.2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. 1989; 194.

¹⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

КПС-4,0 в сцепке с БЗСС-1,0, где в слое 0–10 см увеличение содержания влаги при прикатывании КВГ составило 7,7%, ККШ — 9,5%. Одновременно на фоне предпосевной обработки КБМ-6НУ — 5,5 и 7,1%, АКШ-3,6 — 2,2 и 3,9%.

Различная интенсивность воздействия на поверхностный слой почвы оказывала выраженное влияние и на изменение его структурно-агрегатного состава. Наибольшая доля агрономически ценной фракции в слое 0–10 см в фазе всходов была установлена при предпосевной обработке машиной КБМ-6НУ — 71,7%, что на 12,9 и 6,1% выше, чем при использовании соответственно КПС-4,0+БЗСС-1,0 и АКШ-3,6. Прикатывание после посева также характеризовалось значительным положительным влиянием на оструктуренность почвы, увеличивая количество агрономически ценных агрегатов почвы (размером 0,25–10 мм) при использовании гладкого катка: на 5,5 (на фоне предпосевной обработки АКШ-3,6), 5,9 (КБМ-6НУ), 7,2% (КПС-4,0+БЗСС-1,0); кольчато-шпорового соответственно: на 9,9, 11,0, 13,5%. Аналогичная закономерность изменчивости была характерна и для $K_{стр.}$, который прямо коррелирует с долей агрономически ценной фракции почвы (рис. 5). Наиболее высоким значением $K_{стр.}$ отличалась система обработки почвы, включающая применение перед посевом комбинированной машины КБМ-6НУ, а после посева — прикатывания ЗККШ-6. Стоит отметить, что более существенная выраженность исследуемых воздействий проявлялась в слое 0–10 см, в то время как изменения структурно-агрегатного состава слоя почвы 10–20 см носили по большей части незначительный характер.

Использование различных почвообрабатывающих средств механизации в системе пред- и послепосевных мероприятий оказывало существенное влияние на плотность почвы (рис. 6). Так наименьшим ее значением отличалась система обработки почвы, включающая только предпосевную культивацию с боронованием (КПС-4,0+БЗСС-1,0) без осуществления воздействия катковыми рабочими органами. Применение для предпосевной обработки машины КБМ-6НУ повышало плотность почвы в слое 0–10 см — на 8,6%, в слое 10–20 см — на 2,7%, соответственно АКШ-3,6 — 15,0 и 5,3%. Послепосевное прикатывание посевов гладким катком повышало плотность почвы в слое 0–10 см на 6,5% (АКШ-3,6) → 7,9% (КБМ-6НУ) → 14,0% (КПС-4,0+БЗСС-1,0), кольчато-шпоровым соответственно: 5,6% → 6,9% → 11,8%.

Оптимизация технологических воздействий в системе пред- и послепосевной обработки почвы, способствовала существенному повышению полевой всхожести семян овса (рис. 7). Наибольшая густота всходов была достигнута при обработке кольчато-шпоровым катком — 79,3 (КПС-4,0+БЗСС-1,0) — 83,6% (КБМ-6НУ). Рост всхожести при использовании гладкого

Рис. 4. Влажность почвы при разных системах обработки (фенофаза овса — всходы), в среднем за 2023–2025 гг., %

Fig. 4. Soil moisture under different treatment systems (oat phenophase — germination), average for 2023–2025, %

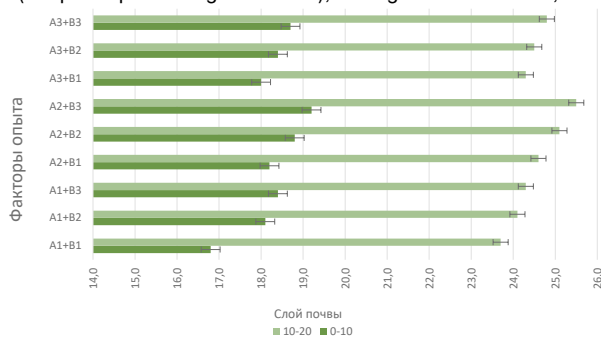


Рис. 5. Коэффициент структурности почвы при разных системах обработки (фенофаза овса — всходы), в среднем за 2023–2025 гг.

Fig. 5. The coefficient of soil structure under different treatment systems (oat phenophase — germination), average for 2023–2025

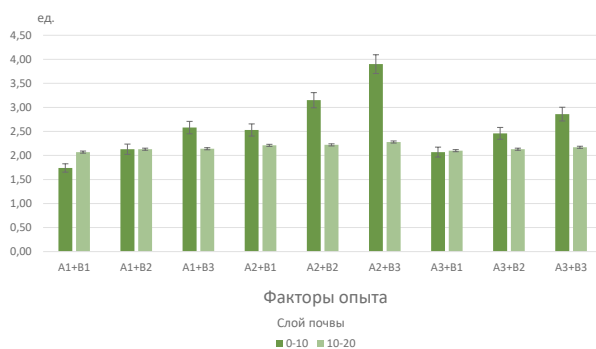


Рис. 6. Плотность почвы при разных системах обработки (фенофаза овса — всходы), в среднем за 2023–2025 гг.

Fig. 6. Soil density under different treatment systems (oat phenophase — germination), average for 2023–2025

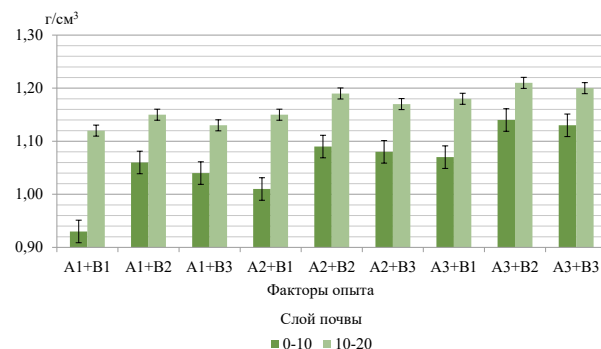
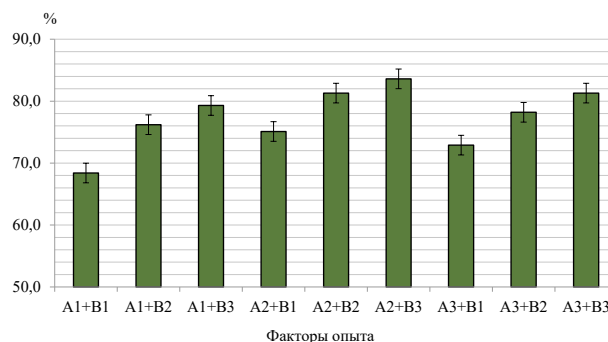


Рис. 7. Полевая всхожесть семян овса при разных системах обработки почвы, в среднем за 2023–2025 гг.

Fig. 7. Field germination of oat seeds under different tillage systems, average for 2023–2025



катка составлял 5,3 — 7,8%, ККШ — 8,4 — 10,9%. Несколько большим преимуществом прикатывание обладало на фоне КПС-4,0+БЗСС-1,0.

Наряду с повышением полевой всхожести овса, в опытах при трансформации пред- и послепопосевной обработки почвы наблюдалось также существенное изменение количества проросших семян различных сорняков (рис. 8). Наиболее засоренными были всходы овса на фоне культивации с боронованием. На остальных фонах предпосевной обработки число малолетних сорняков снизилось на 18,0 — 27,1%, многолетних соответственно — на 10,0 — 17,6%. Прикатывание также имело выраженный положительный эффект в уменьшении засоренности ($\downarrow 14,0$ — 24,0% — малолетние и $\downarrow 11,1$ — 23,5% — многолетние), в особенности при использовании кольчато-шпорового катка, отличающего более интенсивным воздействием на поверхностный слой почвы. Стоит отметить, что основным сорным компонентом опытных агрофитоценозов овса в годы исследований были двудольные сорняки.

В целом, несмотря на вариации значений обилия сегеталов при оптимизации обработки почвы, их отрицательное воздействие на агрофитоценоз практически полностью нивелировалось последующей гербицидной обработкой, биологическая эффективность которой в среднем по вариантам превышала 95%.

Улучшение характеристик почвенной среды на этапе начального развития растений способствовало усилению продукционного процесса и формированию более высоких показателей урожайности (табл.). Так, из вариантов предпосевной обработки наиболее значительную урожайность зерна овса в среднем за период эксперимента обеспечило использование машины КБМ-6НУ — 2,12 т/га, что на 0,41 т/га (24,0%) выше, чем при обработке КПС-4,0+БЗСС-1,0 и на 0,16 т/га (8,2%) больше, чем АКШ-3,6. Прикатывание почвы после посева овса увеличивало урожайность культуры на 0,09 — 0,12 т/га (4,6 — 7,0%) при применении КВГ-1,4 и на 0,17 — 0,24 т/га (8,7 — 14,2%) при использовании ЗККШ-6. При этом наивысшие параметры прибавок были выявлены при проведении прикатывания на фоне КПС-4,0+БЗСС-1,0, а наименьшие на фоне АКШ-3,6. Данная закономерность объясняется, главным образом, частичным нивелированием эффективности прикатывания действием ротационных рабочих органов, входящих в состав исследуемых машин.

В целом, в разрезе роста отклика культуры на осуществленную обработку почвы машины для предпосевной обработки разместились следующим образом: КПС-4,0+БЗСС-1,0 → АКШ-3,6 → КБМ-6НУ, соответственно послепопосевной: КВГ-1,4 → ЗККШ-6.

Максимальная в опыте урожайность овса, равная 2,34 т/га, сформировалась при системе обработки почвы, включающей КБМ-6НУ (перед посевом) и ЗККШ-6 (после посева).

Рис. 8. Засоренность всходов овса, в среднем за 2023–2025 гг.

Fig. 8. Contamination of oat seedlings, average for 2023–2025



Таблица. Урожайность зерна овса посевного сорта Яков

Table. Yield of oat grain of the Yakov seed variety

Фактор А	Фактор В	Год исследований			В среднем
		2023	2024	2025	
КПС-4,0+БЗСС-1,0	Без обработки	1,54	1,66	1,93	1,71
	КВГ-1,4	1,65	1,80	2,04	1,83
	ЗККШ-6	1,76	1,92	2,18	1,95
КБМ-6НУ	Без обработки	1,90	2,08	2,37	2,12
	КВГ-1,4	1,98	2,21	2,49	2,23
	ЗККШ-6	2,08	2,30	2,64	2,34
АКШ-3,6	Без обработки	1,78	1,94	2,17	1,96
	КВГ-1,4	1,85	2,03	2,26	2,05
	ЗККШ-6	1,93	2,09	2,36	2,13
НСП ₀₅ для А		0,04	0,05	0,06	0,06
НСП ₀₅ для В		0,03	0,03	0,04	0,03
НСП ₀₅ для АВ		0,03	0,04	0,04	0,03

Таким образом, полученные экспериментальные результаты расширяют научный базис по совершенствованию агротехнологий выращивания овса. Целесообразность трансформации системы обработки почвы при возделывании различных сельскохозяйственных культур и, в частности, овса посевного была неоднократно подтверждена многими отечественными [27–31] и зарубежными специалистами [9, 22, 32–35]. Среди ключевых положительных аспектов, формирующих необходимость оптимизации технологических воздействий в системе обработки почвы при возделывании овса, выделяют комплексное улучшение физико-механических и технологических характеристик почвенной среды, повышение урожайности и качества зерна [1, 2, 12, 24].

Выводы/Conclusions

В результате исследований установлено, что улучшение начального развития растений за счет создания почвообрабатывающими машинами оптимальных условий поверхностного слоя почвы способствовало усилению продукционного процесса. Так, максимальная в опыте урожайность овса, равная 2,34 т/га, сформировалась при

системе обработки почвы, включающей КБМ-6НУ (перед посевом) и ЗККШ-6 (после посева). В разрезе роста отклика культуры машины для предпосевной обработки разместились следующим образом: КПС-4,0+БЗСС-1,0 → АКШ-3,6 → КБМ-6НУ, соответственно послепосевной: КВГ-1,4 → ЗККШ-6. Применение только предпосевной обработки агрегатом КБМ-6НУ обеспечило урожайность зерна овса на уровне 2,12 т/га, что было на 0,41 т/га (24,0%) выше, чем при обработке КПС-4,0+БЗСС-1,0 и на 0,16 т/га (8,2%) больше, чем

АКШ-3,6. Прикатывание почвы после посева повышало урожайность культуры на 0,09 — 0,12 т/га (4,6 — 7,0%) при применении КВГ-1,4 и на 0,17 — 0,24 т/га (8,7 — 14,2%) — ЗККШ-6. Сформированные прибавки урожайности, стали следствием эффективной рационализации системы пред- и послепосевной обработки почвы, обеспечившей оптимизацию ее структурно-агрегатного состава, улучшение гидрорежима, повышение полевой всхожести семян овса и снижение засоренности всходов.

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. Воронов С.И. и др. Продуктивность и качество зерна сортов овса селекции Московского научно-исследовательского института сельского хозяйства «Немчиновка» при разных технологиях возделывания. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017; (5): 7–10. EDN ZXLAYB
2. Sulek A., Cacak-Pietrzak G., Rózewicz M., Nieróbca A., Studnicki M., Podolska G. Influence of Production Technology Intensity on the Yield and Amino Acid Profile of the Grain Protein of Different Sowing Oat (*Avena sativa* L.) Cultivars. *Agronomy*. 2025; 15(4): 803. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040803>
3. Lu H., Zheng Y., Zhao T., Tang L., Zhang F., Xie W. The potential spatiotemporal distribution patterns of *Avena nuda* and *Avena sativa* from global perspective provide new insights for the cultivation of commonly cultivated oats. *BMC Plant Biology*. 2025; 25: 550. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06590-y>
4. Конончук В.В., Штырхунув В.Д., Кабашов А.Д., Тимошенко С.М., Соболев С.В., Назарова Т.О. Производство овса в севообороте в зависимости от технологических факторов и погодных условий в Центральном Нечерноземье. *Агрохимический вестник*. 2017; (1): 25–30. EDN YHPGYD
5. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. Обоснование приемов обработки почвы при освоении залежных земель. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2020; 13(1): 28–35. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.1.28>
6. Kolmanič A., Sinković L., Nečemer M., Ogrinc N., Meglič V. The Effect of Cultivation Practices on Agronomic Performance, Elemental Composition and Isotopic Signature of Spring Oat (*Avena sativa* L.). *Plants*. 2022; 11(2): 169. <https://doi.org/10.3390/plants11020169>
7. Васильев А.С., Фаринюк Ю.Т. Повышение эффективности технологий возделывания овса в Центральном Нечерноземье России. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022; 14(4): 384–402 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-384-402>
8. Ma Q.-J. *et al.* Agricultural soil aggregation is affected by the crop root biomass rather than morphological characteristics. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2023; 186(3): 339–350. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200293>
9. Mechri M. *et al.* Soil Aggregation and Associated Organic Carbon and Total Nitrogen in a Sandy Loam Soil under Long-Term Tillage Effects. *Agronomy*. 2023; 13(10): 2520. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102520>
10. Кузьминых А.Н., Михеев Е.В. Урожайность овса посевного в зависимости от способов основной и предпосевной обработки почвы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; (6): 19–25. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-116-6-19-25>
11. Carey P.L., Malcolm B.J., Maley S.C. Tillage practice and sowing time affect yield, nitrogen uptake and profitability of catch crops sown after winter forage grazing in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2023; 66(5): 454–478. <https://doi.org/10.1080/00288233.2022.2097269>
12. Митрофанов Ю.И., Петрова Л.И., Гуляев М.В., Первушина Н.К. Предпосевная обработка почвы при разных способах посева зерновых культур. *Земледелие*. 2020; (6): 29–33. EDN RRQUYY

REFERENCES

1. Voronov S.I. *et al.* Productivity and quality of a grain of varieties oat's of selections Moscow NIISH at different technologies of cultivation. *Russian Agricultural Sciences*. 2017; (5): 7–10 (in Russian). EDN ZXLAYB
2. Sulek A., Cacak-Pietrzak G., Rózewicz M., Nieróbca A., Studnicki M., Podolska G. Influence of Production Technology Intensity on the Yield and Amino Acid Profile of the Grain Protein of Different Sowing Oat (*Avena sativa* L.) Cultivars. *Agronomy*. 2025; 15(4): 803. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040803>
3. Lu H., Zheng Y., Zhao T., Tang L., Zhang F., Xie W. The potential spatiotemporal distribution patterns of *Avena nuda* and *Avena sativa* from global perspective provide new insights for the cultivation of commonly cultivated oats. *BMC Plant Biology*. 2025; 25: 550. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06590-y>
4. Kononchuk V.V., Shtyrkhunov V.D., Kabashov A.D., Timoshenko S.M., Sobolev S.V., Nazarova T.O. Oat production in crop rotation in dependence of technological factors and weather conditions in Central Non-Chernozem regions. *Agrochemical Herald*. 2017; (1): 25–30 (in Russian). EDN YHPGYD
5. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Golubev V.V. Justification of tillage methods in the development of fallow lands. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020; 13(1): 28–35 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.1.28>
6. Kolmanič A., Sinković L., Nečemer M., Ogrinc N., Meglič V. The Effect of Cultivation Practices on Agronomic Performance, Elemental Composition and Isotopic Signature of Spring Oat (*Avena sativa* L.). *Plants*. 2022; 11(2): 169. <https://doi.org/10.3390/plants11020169>
7. Vasiliev A.S., Farinyuk Yu.T. Improving the Efficiency of Oat Cultivation Technologies in the Central Non-Black Earth Region of Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022; 14(4): 384–402. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-384-402>
8. Ma Q.-J. *et al.* Agricultural soil aggregation is affected by the crop root biomass rather than morphological characteristics. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2023; 186(3): 339–350. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200293>
9. Mechri M. *et al.* Soil Aggregation and Associated Organic Carbon and Total Nitrogen in a Sandy Loam Soil under Long-Term Tillage Effects. *Agronomy*. 2023; 13(10): 2520. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102520>
10. Kuzminykh A.N., Mikheev E.V. Yield of sowing oats depending on the methods of primary and pre-sowing soil cultivation. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; (6): 19–25 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-116-6-19-25>
11. Carey P.L., Malcolm B.J., Maley S.C. Tillage practice and sowing time affect yield, nitrogen uptake and profitability of catch crops sown after winter forage grazing in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2023; 66(5): 454–478. <https://doi.org/10.1080/00288233.2022.2097269>
12. Mitrofanov Yu.I., Petrova L.I., Gulyaev M.V., Pervushina N.K. Presowing soil cultivation with different methods of sowing cereals. *Zemledelie*. 2020; (6): 29–33 (in Russian). EDN RRQUYY

13. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Firsov A.S., Golubev V.V., Vasilieva L.Y. Improvement of forage lands in Central Non-Black Earth Zone of Russia by using some integrated approaches. *Plant Science Today*. 2021; 8(1): 9–15. <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>
14. Косолапов В.М., Цыгуткин А.С., Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Агрономические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия. *Кормопроизводство*. 2022; (3): 41–47. EDN IZUIQD
15. Юшкевич Л.В., Кем А.А. Влияние прикатывания почвы на урожайность зерновых культур в лесостепи Западной Сибири. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2018; (3): 38–43. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-48-3-38-43>
16. Беховых Ю.В., Беховых Л.А. Прикатывание поверхности почвы как способ оптимизации гидротермического режима пахотного слоя. *Природообустройство*. 2022; (1): 6–11. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-1-6-11>
17. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. Трубчатый каток для подготовки почвы под мелкосеменные культуры. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2022; 30: 107–116. EDN UEUQPC
18. Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В., Кукин В.А., Исмаилов Я.Н. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов кольчато-режущего почвообрабатывающего катка. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018; (6): 121–127. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.121-127>
19. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В., Алипичев А.Ю. Результаты исследования предпосевной обработки почвы прутковым катком. *Агроинженерия*. 2020; (2): 9–16 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-9-16>
20. Митрофанов Ю.И., Анциферова О.Н., Пугачёва Л.В. Технологии выращивания зернофуражных культур на осушаемых землях. *Кормопроизводство*. 2018; (9): 25–29. EDN YAJBYD
21. Ивенин А.В., Ивенин В.В., Шубина К.В., Саков А.П. Влияние технологии возделывания залежных земель на урожайность и энергетическую эффективность выращивания зерновых культур в условиях юго-востока Волго-Вятского региона. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 121–125. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-212-125>
22. Boudiar R. et al. Influence of Tillage and Cropping Systems on Soil Properties and Crop Performance under Semi-Arid Conditions. *Sustainability*. 2022; 14(18): 11651. <https://doi.org/10.3390/su141811651>
23. Артемьев А.А., Гурьянов А.М., Хвостов Е.Н. Урожайность овса при разных приемах обработки почвы и уровнях минерального питания. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023; (3): 6–12. EDN DNGZRI
24. Дементьев Д.А., Фадеев А.А. Влияние систем обработки на агрофизические свойства темно-серой лесной почвы и продуктивность звена полевого севооборота. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(6): 1100–1111. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1100-1111>
25. Летучий А.В., Пшенцова А.И., Минеева Л.Н., Ерюшев М.В., Гераскина А.А. Управление технологическим процессом производства овса. *Аграрный научный журнал*. 2025; (3): 23–32. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i3pp23-32>
26. Chand S. et al. Analyzing trends and future projections in fodder oats (*Avena sativa* L.) for quality seed production in India. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1525422. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1525422>
27. Корчагин А.А. и др. Ресурсы адаптации агротехнологий в различные по метеоусловиям годы. *Земледелие*. 2017; (1): 16–20. EDN YLNLAP
28. Прокина Л.Н., Хвостов Е.Н. Влияние минеральных удобрений и приемов обработки почвы на урожайность овса. *Аграрный научный журнал*. 2019; (12): 30–33. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i12pp30-33>
29. Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В. Влияние систем основной обработки почвы на продуктивность и агрохимические свойства почвы. *Плодородие*. 2023; (5): 59–64. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.134.15>
30. Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., Смирнова Ю.Д., Казьмин А.Е. Агрономелиоративная обработка осушаемых почв. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*. 2023; 61(4): 271–281. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-271-281>
13. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Firsov A.S., Golubev V.V., Vasilieva L.Y. Improvement of forage lands in Central Non-Black Earth Zone of Russia by using some integrated approaches. *Plant Science Today*. 2021; 8(1): 9–15. <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>
14. Kosolapov V.M., Tsygutkin A.S., Aldoshin N.V., Lylin N.A. Mechanized agronomy as means for arable farming biologization. *Kormoproizvodstvo*. 2022; (3): 41–47 (in Russian). EDN IZUIQD
15. Iushkevich L.V., Kem A.A. Impact of soil press work on crop yield in the forest steppe of Western Siberia. *Vestnik NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2018; (3): 38–43 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-48-3-38-43>
16. Bekhovych Yu.V., Bekhovych L.A. Packing of the soil surface as a way to optimize the hydrothermal regime of the arable layer. *Prirodoobustroystvo*. 2022; (1): 6–11 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-1-6-11>
17. Aldoshin N.V., Vasilyev A.S., Golubev V.V. Tubular roller for preparing the soil for small-seeded crops. *Transactions of Taurida Agriculural Science*. 2022; 30: 107–116 (in Russian). EDN UEUQPC
18. Babitsky L.F., Sobolevsky I.V., Kuklin V.A., Ismailov Y.N. Theoretical backgrounds for the bionic substantiation of the parameters of the ring-cutting soil-cultivating roller working bodies. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018; (6): 121–127 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.121-127>
19. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Golubev V.V., Alipichev A.Yu. Study of seedbed preparation with rod-type soil compaction roller. *Agricultural Engineering*. 2020; (2): 9–16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-9-16>
20. Mitrofanov Yu.I., Antsiferova O.N., Pugacheva L.V. Cultivation of fodder grain crops on drainage lands. *Kormoproizvodstvo*. 2018; (9): 25–29 (in Russian). EDN YAJBYD
21. Ivenin A.V., Ivenin V.V., Shubina K.V., Sakov A.P. The influence of the technology of cultivation of fallow lands on the yield and energy efficiency of growing grain crops in the conditions of the south-east of the Volga-Vyatka region. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 121–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-212-125>
22. Boudiar R. et al. Influence of Tillage and Cropping Systems on Soil Properties and Crop Performance under Semi-Arid Conditions. *Sustainability*. 2022; 14(18): 11651. <https://doi.org/10.3390/su141811651>
23. Artemiev A.A., Guriyanov A.M., Khvostov E.N. Yield of oats in case of different types of soil tillage and mineral nutrition levels. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; (3): 6–12 (in Russian). EDN DNGZRI
24. Dementyev D.A., Fadeev A.A. The effect of soil cultivation systems on agronomic and physical properties of dark gray soil and productivity of the field crop rotation link. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(6): 1100–1111 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1100-1111>
25. Letuchy A.V., Pshentsova A.I., Mineeva L.N., Eryushev M.V., Geraskina A.A. Management of the technological process of oat production. *Agrarian Scientific Journal*. 2025; (3): 23–32 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i3pp23-32>
26. Chand S. et al. Analyzing trends and future projections in fodder oats (*Avena sativa* L.) for quality seed production in India. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 16: 1525422. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1525422>
27. Korchagin A.A. et al. Resources of adaptation of agricultural technologies during years with various weather conditions. *Zemledelie*. 2017; (1): 16–20 (in Russian). EDN YLNLAP
28. Prokina L.N., Hvostov E.N. The influence of mineral fertilizers and soil treatment methods on the yield of oats. *Agrarian Scientific Journal*. 2019; (12): 30–33 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i12pp30-33>
29. Mitrofanov Yu.I., Gulyaev M.V. Influence of basic tillage systems on productivity and agrochemical properties of the soil. *Plodородие*. 2023; (5): 59–64 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.134.15>
30. Mitrofanov Yu.I., Gulyaev M.V., Smirnova Yu.D., Kazmin A.E. Agromeliorative treatment of drained soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2023; 61(4): 271–281 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-271-281>

31. Романов В.Н., Козулина Н.С., Василенко А.В., Бобровский А.В., Крючков А.А. Влияние способов обработки почвы на продуктивность зерновых культур в красноярской лесостепи. *Достижения науки и техники АПК*. 2024; 38(4): 28–33. EDN JRPMMHV

32. Власов А.Г., Булавина Т.М. Экономические аспекты интенсификации технологии возделывания овса в Беларуси. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2024; 60: 108–119. EDN ADPGWX

33. Grosse M., Haase T., Heß J. Effects of Tillage Intensity, Cover Crop Species and Cover Crop Biomass on N-Fluxes, Weeds and Oat Yields in an Organic Field Experiment in Germany. *Crops*. 2022; 2(4): 461–475. <https://doi.org/10.3390/crops2040033>

34. Godwin R.J. *et al.* The effects of traffic management systems on the yield and economics of crops grown in deep, shallow and zero tilled sandy loam soil over eight years. *Soil & Tillage Research*. 2022; 223: 105465. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105465>

35. Al-Khalidy A.J.N.A., Muhsin S.J., Sabah Q.S. Impact of Tillage Systems and Organic Manure Application on Some Soil Physical Properties and Grain Yield of Oats (*Avena sativa* L.) Under Semi-Arid Climate Conditions. *Kufa Journal for Agricultural Sciences*. 2025; 17(1): 84–106. <https://doi.org/10.36077/kjas/2025/v17i1.12261>

ОБ АВТОРАХ

Александр Сергеевич Васильев

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агробиотехнологий, перерабатывающих производств и семеноводства
vasilevtgsha@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0936-2011>

Иван Алексеевич Кудласевич

аспирант
i.kudlasevitch@yandex.ru

Юрий Теодорович Фаринюк

доктор экономических наук, профессор, руководитель учебного научно-инновационного производственного центра «Агротехнопарк»
ikc_tver@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0914-8330>

Тверская государственная сельскохозяйственная академия,
ул. Маршала Василевского (Сахарово), 7, Тверь, 170904, Россия

31. Romanov V.N., Kozulina N.S., Vasilenko A.V., Bobrovsky A.V., Kryuchkov A.A. The influence of tillage methods on the productivity of grain crops in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2024; 38(4): 28–33 (in Russian). EDN JRPMMHV

32. Vlasov A.G., Bulavina T.M. Economic aspects of intensification of oats cultivation technologies in Belarus. *Arable Farming and Plant Breeding in Belarus*. 2024; 60: 108–119 (in Russian). EDN ADPGWX

33. Grosse M., Haase T., Heß J. Effects of Tillage Intensity, Cover Crop Species and Cover Crop Biomass on N-Fluxes, Weeds and Oat Yields in an Organic Field Experiment in Germany. *Crops*. 2022; 2(4): 461–475. <https://doi.org/10.3390/crops2040033>

34. Godwin R.J. *et al.* The effects of traffic management systems on the yield and economics of crops grown in deep, shallow and zero tilled sandy loam soil over eight years. *Soil & Tillage Research*. 2022; 223: 105465. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105465>

35. Al-Khalidy A.J.N.A., Muhsin S.J., Sabah Q.S. Impact of Tillage Systems and Organic Manure Application on Some Soil Physical Properties and Grain Yield of Oats (*Avena sativa* L.) Under Semi-Arid Climate Conditions. *Kufa Journal for Agricultural Sciences*. 2025; 17(1): 84–106. <https://doi.org/10.36077/kjas/2025/v17i1.12261>

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Sergeevich Vasiliev

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agrobiotechnology, Processing Industries and Seed Production
vasilevtgsha@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0936-2011>

Ivan Alekseevich Kudlasevich

Postgraduate student
i.kudlasevitch@yandex.ru

Yuri Theodorovich Farinyuk

Doctor of Economical Sciences, Professor, Head of the educational scientific and innovative production center “Agrotechnopark”
ikc_tver@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0914-8330>

Tver State Agricultural Academy,
7 Marshal Vasilevsky st. (Sakharovo), Tver, 170904, Russia

16-18 СЕНТЯБРЯ 2026

35-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

35 АГПРОРУСЬ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ», САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

EXPOFORUM

УДК 633.11:631.52; 631.53.04; 631.559

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-123-130

А.А. Сухарев ✉

М.М. Иванисов

И.К. Копман

Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Ростовская область,
Россия

✉ mns862@rambler.ru

Поступила в редакцию: 10.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.05.2026

Принята к публикации: 29.05.2026

© Сухарев А.А., Иванисов М.М.,
Копман И.К.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-123-130

Aleksandr A. Sukharev ✉

Mikhail M. Ivanisov

Irina K. Kopman

Agrarian Scientific Center «Donskoy»,
Zernograd, Rostov region, Russia

✉ mns862@rambler.ru

Received by the editorial office: 10.02.2026

Accepted in revised: 15.05.2026

Accepted for publication: 29.05.2026

© Sukharev A.A., Ivanisov M.M., Kopman I.K.

Дифференцированный подход к выбору сортов озимой пшеницы и возможность расширения оптимальных сроков посева

РЕЗЮМЕ

Исследования проводились в 2014–2022 гг. в севообороте лаборатории технологии возделывания зерновых культур «АНЦ» Донской в южной зоне Ростовской области. Цель исследований — подбор сортов мягкой озимой пшеницы, позволяющих за счет их биологических особенностей расширить рекомендуемые для зоны сроки посева без снижения продуктивности культуры. Учитывая особенности сортов мягкой озимой пшеницы, при раннем посеве следует использовать сорта Аксинья и Полина по любым предшественникам. Допускается ранний посев сортов Лилит, Капризуля, Капитан, Вольный Дон, Вольница, Зодиак, как обладающих высоким адаптивным потенциалом. Задержка с посевом данных сортов позже оптимальных сроков недопустима, так как приводит к значительному снижению урожайности (на 8–18,9%).

При наступлении оптимальных для зоны сроков посева, кроме вышеназванных сортов, следует высевать сорта Изюминка, Лидия, Краса Дона, Донская степь, Жаворонок, Юбилей Дона, Шеф, Этюд.

При завершении оптимальных сроков посева по непаровым предшественникам допускается посев таких сортов, как Донская степь, Шеф, Этюд, Юбилей Дона. В сравнении с другими сортами их адаптивный потенциал позволяет снижать продуктивность в меньшей степени (на 0,06–0,24 т/га). При позднем посеве рекомендуется высевать сорт Акрос, как наиболее адаптированный. Высевать данный сорт ранее конца оптимальных для зоны сроков не рекомендуется, а поздний посев позволит получить дополнительную урожайность 0,52–0,75 т/га. Таким образом, используя набор сортов селекции «АНЦ» Донской можно расширить диапазон сроков посева с 10 календарных дней до 30 календарных дней, без снижения продуктивности культуры.

Ключевые слова: мягкая озимая пшеница, сортовые особенности, оптимальные сроки посева, ранний срок посева, поздний срок посева, урожайность

Для цитирования: Сухарев А.А., Иванисов М.М., Копман И.К. Дифференцированный подход к выбору сортов озимой пшеницы и возможность расширения оптимальных сроков посева. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 123–130.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-123-130>

A differentiated approach to the selection of winter wheat varieties and the possibility of extending the optimal sowing time

ABSTRACT

The research was conducted in 2014–2022 in the crop rotation laboratory of the technology of cultivation of grain crops «ASC» Donskoy in the southern zone of the Rostov region. The purpose of the research is to select varieties of soft winter wheat that, due to their biological characteristics, extend the recommended sowing time for the zone without reducing crop productivity. Taking into account the peculiarities of the varieties of soft winter wheat, the varieties Aksinya and Polina should be used for early sowing according to any predecessors. Early sowing of Lilit, Kaprizulya, Kapitan, Volny Don, Volnitsa, Zodiac varieties is allowed, as they have a high adaptive potential. A delay in sowing these varieties later than the optimal time is unacceptable, as it leads to a significant decrease in yield (by 8–18.9%).

When the optimal sowing dates for the zone occur, in addition to the above-mentioned varieties, the varieties Izyuminka, Lydia, and Krasa Dona should be sown, The Donskaya step, The Lark, Yubiley Dona, Chef, Etude.

At the end of the optimal sowing time for non-steam precursors, it is allowed to sow such varieties as Don Steppe, Chef, Etude, Yubiley Dona. In comparison with other varieties, their adaptive potential makes it possible to reduce productivity to a lesser extent (by 0.06–0.24 t/ha). In case of late sowing, it is recommended to sow the Akros varieties as the most adapted. It is not recommended to sow these varieties earlier than the end of the optimal time for the zone, and late sowing will allow for an additional yield of 0.52–0.75 t/ha. Thus, using a set of varieties of the «ASC» Donskoy breeding, it is possible to expand the range of sowing dates from 10 calendar days to 30 calendar days.

Key words: soft winter wheat, varietal characteristics, optimal sowing time, early sowing time, late sowing time, productivity

For citation: Sukharev A.A., Ivanisov M.M., Kopman I.K. The variety selection makes it possible to expand the range of optimal sowing dates for winter wheat. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 123–130 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-123-130>

Введение/Introduction

Посев является ключевым агротехническим этапом при возделывании любых озимых культур, в том числе мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum*). Продуктивность агроценоза в решающей степени определяется сроком посева культуры. [1–4]. Основным критерием при выборе срока посева озимой пшеницы считается период осеннего кущения, позволяющий растениям сформировать не менее 3–5 стеблей перед наступлением зимнего покоя [5]. Ранний срок посева озимой пшеницы создает опасность перерастания и снижения продуктивности посевов [6]. Из исследований Ляшкова И.В. [7] следует, что лишь при посеве озимой пшеницы в оптимальный срок можно добиться высоких урожаев культуры, даже в условиях засушливой осени, причем автор отмечает снижение урожайности в поздний срок. У озимой пшеницы, высеянной в оптимальные агротехнические сроки, фиксируется повышенный поверхностный фотосинтетический потенциал. Смещение посева в сторону ранних и поздних дат приводит к снижению данного показателя на 4,0 и 19,5% соответственно [8]. Поздние посевы развиты хуже, продуктивность их снижается [9]. По некоторым утверждениям, каждый день задержки с посевом позже оптимальных сроков приводит к снижению урожайности на 1% [10]. В то же время даже в условиях Западной Сибири наблюдается повышение эффективности поздних посевов [11]. Таким образом, противоречивость имеющихся научных данных, вероятнее всего, объясняется сортоспецифическими особенностями, которые не были учтены при закладке полевого опыта. Тем больший интерес представляют исследования, в которых авторы используют разные сорта озимой пшеницы и получают различную их реакцию на срок посева [12–14].

В результате многолетних исследований во всех зонах возделывания пшеницы определен оптимальный период ее посева. Для южной зоны Ростовской области календарным оптимумом посева мягкой озимой пшеницы является период с 20 по 30 сентября [15]. Однако закончить посевные мероприятия в этот достаточно узкий период представляется затруднительным. Согласно официальной статистике Ростовстата под посевы озимой пшеницы в 2025 году было отведено 2817 тыс. га пахотных площадей¹. Это существенно (на 23,5%) выше, чем в 2015 году — 2280 тыс. га, и на 89% выше, чем в 2005 году — 1490 тыс. га². При этом энерговооруженность сельхозтоваропроизводителей ухудшается. Так, в 2021 году в

хозяйствах всех форм собственности насчитывалось 29,8 тыс. тракторов, причем 64% этого парка вышло за пределы сроков амортизации³. На 2024 год тракторный парк насчитывал уже лишь 28 тыс. единиц⁴. Дальнейшая динамика энерговооруженности хозяйств расценивается как негативная, что связано с семикратным снижением объемов приобретения техники в сравнении с 2021 годом⁵.

Поэтому сельхозтоваропроизводители вынуждены нарушать технологию возделывания и начинать сев раньше оптимальных сроков, продолжая его после окончания оптимальных сроков посева. При этом, как правило, не учитываются сортовые особенности культуры. Сев неадаптированных сортов озимой пшеницы в ранний срок чреват перерастанием растений, а сев в поздние сроки — грозит слабым развитием с осени, что приводит к снижению продуктивности. Согласно многолетним исследованиям, проводимым в «АНЦ» «Донской», сев вне оптимальных сроков (особенно в поздние сроки) приводит к снижению урожайности в среднем на 0,53–1,27 т/га или на 8–18,9%.

Поэтому целью исследований являлся поиск сортов мягкой озимой пшеницы, позволяющих за счет их биологических особенностей расширить рекомендуемые для зоны сроки посева без снижения продуктивности культуры.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объектами исследований являлись сорта мягкой озимой пшеницы селекции «АНЦ» «Донской».

В период 2014–2016 гг. изучались сорта мягкой озимой пшеницы: Находка, Аксинья, Лилит, Изюминка, Капризуля, Лидия и Капитан.

В период 2016–2022 гг. изучались сорта: Краса Дона, Донская степь, Вольный Дон, Вольница, Жаворонок, Юбилей Дона, Шеф, Этюд, Зодиак, Полина, Акрос.

Исследования проводились на полях севооборота лаборатории технологии возделывания зерновых культур Аграрного научного центра «Донской» расположенного в южной климатической зоне Ростовской области.

Почва опытного участка — чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглистый. Мощность гумусового горизонта 90–120 см, содержание гумуса 3,2%, P_2O_5 — 18,5–20,0; K_2O — 342–360 мг/кг. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН 7,0).

Изучаемые сорта озимой мягкой пшеницы размещались по черному и сидеральному (горчица)

¹ https://61.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/итоги%20сева_2025_пресс%20информация.pdf

² Украинцева И. В. Состояние и тенденции развития рынка зерна Ростовской области // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2017. — Т. 23. — С. 95–99. — URL: <http://e-koncept.ru/2017/770441.htm>.

³ <https://www.agroinvestor.ru/regions/article/36097-lider-po-zernu-i-agroeksportu-obzor-apk-rostovskoy-oblasti-po-itogam-raboty-v-2020-godu/>

⁴ <https://www.kommersant.ru/doc/6454518>

⁵ <https://161.ru/text/economics/2026/01/05/76206338/>

парам, зерновым бобовым (горох) и пропашным (подсолнечник) культурам. Закладка опытов производилась в четыре срока, соответствующих грациям климатической зоны:

- I — 10 сентября (ранний);
- II — 20 сентября (начало оптимального);
- III — 30 сентября (конец оптимального);
- IV — 10 октября (поздний).

Посев проводили рядовым способом (15 см), норма высева фиксированная — 5,0 млн/га чистых и всхожих семян. Таким образом, в опыте изучалось 3 фактора: фактор А — предшественник, фактор В — сорт, фактор С — срок посева. На посевах применялись общепринятые защитные и уходные мероприятия. Общая площадь делянки — 55 м², учетная площадь — 41,25 м², повторность — четырехкратная, размещение делянок — систематическое. Учет урожая проводили в фазу полной спелости комбайном Sampo-Rosenlew 2010 (Финляндия) прямым способом. Определение массы зерна с каждой делянки осуществляли весовым методом непосредственно после обмола. Для установления статистически значимых эффектов изучаемых факторов данные подвергались математической обработке методом дисперсионного анализа⁶.

По данным метеостанции «Зерноград», погодные условия за годы исследований не отличались разнообразием. Лишь в 2014 сельскохозяйственном году осенние условия были благоприятны для получения дружных всходов по всем срокам посева и предшественникам. В остальные годы в осенний период в большей или меньшей степени наблюдался недостаток влаги, затрудняющий получение дружных всходов по непаровым предшественникам. Особенно засушливым в осенний период был в 2021 году, когда даже по черному пару всходы были получены в первой декаде ноября после выпадения осадков. В целом почти все годы исследований характеризовались благоприятными условиями для озимых культур, лишь в 2019 году наблюдались суховейные явления в июне, снизившие урожайность озимой пшеницы.

В целом условия проведения опытов были засушливыми, что соответствует климатической зоне. В 2015 и 2017 годах увлажнение в вегетационный период находилось на уровне нижней границы нормы (ГТК составил 1,0), условия 2014, 2016, 2020 и 2021 годов характеризовались как засушливые (ГТК = 0,7–0,9). Острозасушливые условия наблюдались в 2019 и 2022 годах (ГТК составил 0,5–0,6), а экстремальная засуха пришла на 2018 год (ГТК = 0,3). Высокая урожайность в эти годы обеспечивалась, прежде всего, осенне-зимними осадками (например, в 2018 году сумма зимних осадков превышала среднегодовую норму на 28,8%).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ полученных данных свидетельствует о различной отзывчивости сортов озимой мягкой пшеницы на сроки сева в зависимости от предшествующей культуры. Для сортов Изюминка и Лидия оптимум сроков сева, обеспечивающий максимальную продуктивность (в среднем за годы исследований), приходился на период 20–30 сентября. Наиболее благоприятными агрофонами для реализации данного потенциала являлись паровые предшественники и горох на зерно (таблица 1).

Таблица 1. Влияние сроков посева на урожайность сортов мягкой озимой пшеницы в зависимости от предшествующей культуры в среднем за 2014–2016 гг., т/га

Table 1. The effect of sowing dates on the yield of varieties of soft winter wheat, depending on the previous crop, on average for 2014–2016, t/ha

Сорт (B)	Срок посева (C)			
	10 сентября	20 сентября	30 сентября	10 октября
<i>Предшественник (A) — чёрный пар</i>				
Находка	6,86	6,96	6,90	6,64
Аксинья	6,81	6,82	6,70	6,40
Лилит	6,72	6,84	6,74	6,52
Изюминка	6,16	6,38	6,34	6,06
Капризуля	6,75	6,94	6,86	6,46
Лидия	6,67	7,02	6,91	6,66
Капитан	6,49	6,66	6,54	6,39
<i>Предшественник — сидеральный пар</i>				
Находка	6,70	6,74	6,67	6,43
Аксинья	6,81	6,65	6,48	6,20
Лилит	6,80	6,78	6,66	6,34
Изюминка	6,02	6,24	6,25	5,73
Капризуля	6,77	6,79	6,65	6,28
Лидия	6,70	7,17	7,05	6,64
Капитан	6,59	6,72	6,56	6,19
<i>Предшественник — горох</i>				
Находка	6,78	6,79	6,78	6,48
Аксинья	6,81	6,53	6,36	5,94
Лилит	7,10	6,95	6,70	6,29
Изюминка	6,09	6,35	6,20	5,66
Капризуля	6,90	6,82	6,55	6,29
Лидия	6,75	6,93	6,79	6,49
Капитан	6,65	6,72	6,32	6,16
<i>Предшественник — подсолнечник</i>				
Находка	5,74	5,54	5,50	5,26
Аксинья	5,26	5,07	4,99	4,58
Лилит	5,75	5,41	5,29	5,09
Изюминка	5,37	5,44	5,39	4,85
Капризуля	6,01	5,84	5,66	5,40
Лидия	5,74	5,83	5,74	5,22
Капитан	5,55	5,48	5,32	5,02
НСР _{0,05}				0,20
Влияние фактора А, %				55,0
Влияние фактора В, %				4,4
Влияние фактора С, %				15,5

⁶ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е изд. Москва. Агропромпромиздат. 1985 г.

Для сорта Изюминка оптимальным окном сева по паровым предшественникам являлся период 20–30 сентября, обеспечивающий урожайность на уровне 6,34–6,38 т/га. Смещение сроков сева в сторону ранних (10.09) и поздних (10.10) приводило к достоверному снижению продуктивности. Депрессия урожайности по черному пару составила 0,18–0,32 т/га, по сидеральному — 0,22–0,52 т/га относительно оптимальных значений. При возделывании по непаровым предшественникам (горох, подсолнечник) выявлена схожая закономерность, однако по гороху разница между ранним сроком (10.09) и концом оптимального периода (30.09) нивелировалась и находилась в пределах ошибки опыта (НСР). По подсолнечнику, как наиболее стрессовому предшественнику, урожайность сорта Изюминка в ранний срок (5,37 т/га) статистически не отличалась от показателей, полученных в оптимальные сроки (5,39–5,44 т/га), что указывает на компенсаторные возможности сорта в условиях жесткого водного и пищевого режима.

У сорта Лидия также зафиксирована высокая отзывчивость на сроки сева. По паровым предшественникам максимум реализации потенциала продуктивности (6,91–7,17 т/га) достигался в интервале 20–30 сентября, тогда как при раннем и позднем севе отмечено существенное снижение сбора зерна (на 0,24–0,53 т/га). По предшественнику горох у сорта Лидия, как и у Изюминки, не наблюдалось статистически значимой разницы между урожайностью при севе 10 и 30 сентября (6,75 и 6,79 т/га соответственно). Достоверное снижение продуктивности фиксировалось лишь при крайне позднем сроке сева (10.10), где потери достигали 0,44 т/га. На фоне подсолнечника сорт Лидия продемонстрировал четкую зависимость от срока: максимальная урожайность отмечена при севе 20 сентября (5,83 т/га) с последующим снижением к октябрьскому сроку (10.10) до 5,22 т/га.

Сорта Лилит, Капризуля и Капитан характеризовались иной стратегией формирования урожайности. По паровым предшественникам они стабильно формировали высокую продуктивность как при ранних, так и при оптимальных сроках сева (10–30 сентября). Для непаровых предшественников была выявлена тенденция смещения оптимума на более ранний период. В частности, сорт Лилит по гороху максимальную урожайность (7,10 т/га) сформировал при севе 10 сентября, тогда как запаздывание с севом до 20 и 30 сентября приводило к прогрессирующему снижению показателя на 0,15 и 0,40 т/га соответственно. Минимальные значения (6,29 т/га) зафиксированы при октябрьском севе. Аналогичная динамика, хотя и на более низком абсолютном уровне, прослеживалась по подсолнечнику, где урожайность при посеве 10 сентября составила 5,75 т/га, а при посеве в более поздние сроки снижалась до 5,09–5,41 т/га.

Сорт Находка проявил себя как пластичный по отношению к срокам сева на паровых фонах и фоне гороха: урожайность в интервале 10–30 сентября варьировала незначительно (в пределах 6,67–6,96 т/га). Критическое снижение продуктивности (на 0,22–0,32 т/га) наблюдалось исключительно при переносе сева на 10 октября. Однако по подсолнечнику оптимум сева для Находки смещался на ранний срок (10.09), где урожайность достигала 5,74 т/га. При более поздних сроках (20–30.09) отмечалось снижение на 0,20–0,24 т/га, достигая минимума (5,26 т/га) при октябрьском севе.

Сорт Аксинья продемонстрировал выраженное предпочтение к раннему сроку сева. Максимальные показатели урожайности по всем типам предшественников (как по паровым, так и по непаровым) были достигнуты при севе 10 сентября. Наиболее мягкое снижение продуктивности отмечено по черному пару: при севе 10 сентября урожайность составляла 6,81 т/га, к 10 октября она снизилась до 6,40 т/га. По сидеральному пару аналогичный показатель уменьшился с 6,81 до 6,20 т/га. Более выраженная депрессия урожайности наблюдалась при возделывании по непаровым предшественникам: на фоне гороха продуктивность снизилась с 6,81 до 5,94 т/га, а по подсолнечнику — с 5,26 до 4,58 т/га, что свидетельствует о кумулятивном эффекте стрессовых факторов (поздний сев + жесткий предшественник).

После 2016 года исследовались сорта: Краса Дона, Донская степь, Вольный Дон, Вольница, Жаворонок, Юбилей Дона, Шеф, Этюд, Зодиак, Полина, Акрос. Как показали исследования, сорт Краса Дона предпочитает посев в оптимальные сроки (20–30 сентября). Сев в данный период, обеспечивал урожайность от 6,02 т/га до 8,56 т/га в среднем (в зависимости от предшественника). Ранние и поздние сроки приводят к снижению урожайности до 0,45–0,54 т/га (таблица 2).

Сорт Донская степь предпочитает посев в оптимальные сроки, однако при посеве в поздний срок по сидеральному (горчица) пару и непаровым предшественникам урожайность практически не снижается. При посеве в оптимальные сроки (20–30 сентября) урожайность достигает 5,97–7,59 т/га в зависимости от предшественника, в поздний (10 октября) — 5,90–7,49 т/га, то есть разница не превышает 0,06–0,19 т/га. При посеве в ранний срок (10 сентября) снижение урожайности оказалось более значительным — 0,29–0,44 т/га в зависимости от предшественника.

Сорт Вольный Дон максимальную продуктивность показывает при оптимальных сроках посева, однако при посеве в ранний срок (10 сентября) продуктивность сорта лишь немногим (на 0,11–0,28 т/га) уступает оптимальным срокам. При посеве в поздний срок наблюдается снижение урожайности на 0,27–0,40 т/га. Лишь по

Таблица 2. Влияние сроков посева на урожайность сортов мягкой озимой пшеницы в зависимости от предшествующей культуры в среднем за 2017–2022 гг., т/га

Table 2. The effect of sowing dates on the yield of varieties of soft winter wheat, depending on the previous crop, on average for 2017–2022, t/ha

Сорт (фактор А)	Срок посева (фактор С)			
	10 сентября	20 сентября	30 сентября	10 октября
<i>Предшественник — чёрный пар (фактор В)</i>				
Краса Дона	8,11	8,62	8,50	8,02
Донская степь	8,41	8,77	8,74	8,23
Вольный Дон	8,36	8,64	8,42	7,96
Вольница	8,46	8,68	8,58	7,88
Жаворонок	8,64	8,57	8,73	7,94
Юбилей Дона	7,71	7,83	7,81	7,30
Шеф	8,00	8,11	8,16	7,53
Этюд	7,67	7,97	7,91	7,25
Зодиак	8,64	8,77	8,58	8,10
Полина	8,72	8,66	8,49	7,61
Акрос	6,15	6,06	6,43	6,18
<i>Предшественник — сидеральный пар</i>				
Краса Дона	7,43	7,80	7,77	7,39
Донская степь	7,14	7,59	7,57	7,49
Вольный Дон	7,24	7,35	7,26	6,97
Вольница	6,87	7,12	7,09	6,75
Жаворонок	6,83	7,83	7,44	7,12
Юбилей Дона	6,35	6,58	6,58	6,51
Шеф	6,62	6,70	6,64	6,56
Этюд	6,38	6,62	6,64	6,60
Акрос	5,13	5,36	5,72	5,44
<i>Предшественник — горох на зерно</i>				
Краса Дона	7,42	7,63	7,39	6,98
Донская степь	7,11	7,42	7,38	7,21
Вольный Дон	7,33	7,25	7,12	7,01
Вольница	7,03	7,10	7,07	6,74
Жаворонок	7,30	7,42	7,55	7,24
Юбилей Дона	6,38	6,79	6,76	6,50
Шеф	6,74	6,92	6,84	6,64
Этюд	6,49	6,67	6,58	6,46
Зодиак	7,24	7,46	7,12	6,66
Полина	7,33	7,30	7,26	6,89
Акрос	3,88	3,94	4,79	4,96
<i>Предшественник — подсолнечник</i>				
Краса Дона	5,80	6,08	5,96	5,83
Донская степь	5,56	5,97	5,95	5,90
Вольный Дон	5,47	6,00	5,91	5,70
Вольница	5,05	5,65	5,63	5,30
Жаворонок	5,26	6,29	5,90	5,71
Юбилей Дона	5,77	6,06	5,96	5,91
Шеф	4,91	5,33	5,36	5,32
Этюд	4,93	5,49	5,57	5,42
Зодиак	6,54	6,69	6,36	6,09
Полина	6,25	6,18	6,11	5,71
Акрос	3,78	3,75	4,30	4,43
НСР _{0,05}				0,27
Влияние фактора А (сорт), %				12,1
Влияние фактора В (предшественник), %				74,1
Влияние фактора С (срок посева), %				7,9

предшественнику подсолнечника наблюдается некоторое повышение урожайности (на 0,23 т/га), но урожайность в этот срок все равно ниже, чем при посеве в оптимальные сроки.

Шеф — высокоадаптивный к различным срокам посева сорт, тем не менее показывающий максимальную продуктивность при оптимальных сроках посева, однако по лучшему паровому предшественнику (черный пар) желательно отказаться от поздних сроков посева, так как урожайность в этом варианте снижается на 0,48–0,63 т/га. По сидеральному пару урожайность в поздние сроки посева (10 октября) снижается незначительно в сравнении с более ранними сроками на 0,10–0,28 т/га, а по непаровым предшественникам урожайность при посеве в поздние сроки практически не снижается.

Сорт Вольница по характеру реакции на сроки сева был близок к сорту Вольный Дон. Максимальная продуктивность сорта (5,64–8,63 т/га в зависимости от предшественника) достигалась при севе в оптимальный интервал (20–30 сентября). Перенос сева на поздний срок (10 октября) вызывал существенную депрессию урожайности — снижение на 0,35–0,75 т/га. Ранний срок сева (10 сентября) оказывал менее выраженное негативное влияние, лимитируя продуктивность на 0,17–0,24 т/га.

Сорт Жаворонок также характеризовался максимальной реализацией потенциала урожайности (6,09–8,65 т/га) при севе 20–30 сентября. Отклонение от оптимальных сроков как в сторону раннего (10.09), так и позднего (10.10) сева приводило к снижению урожайности на 0,24–0,83 т/га. Исключение составил фон черного пара, где ранний срок сева (10.09) обеспечил урожайность (8,64 т/га), что практически не уступает урожайности полученной в оптимальный период (8,65 т/га). Поздний срок по данному предшественнику сопровождался существенным падением продуктивности (на 0,72 т/га).

Сорта Юбилей Дона и Этюд обнаружили сходные требования к срокам сева. Оба сорта формировали максимальную урожайность (6,01–7,82 и 5,53–7,94 т/га соответственно) в интервале 20–30 сентября. При этом характер снижения продуктивности за пределами оптимума различался. По непаровым предшественникам ранний срок сева (10.09) вызывал более выраженную редукцию урожая у сорта Этюд (0,25–0,60 т/га) по сравнению с сортом Юбилей Дона (0,23–0,40 т/га). В то же время поздний срок сева (10.10) оба сорта переносили относительно хорошо: снижение составило лишь 0,07–0,28 т/га у сорта Юбилей Дона и 0,11–0,16 т/га у сорта Этюд, что указывает на возможность их использования в поздние сроки сева.

Сорт Зодиак на всех типах предшественников (паровых и непаровых) обеспечивал максимальную продуктивность (6,52–8,64 т/га) при севе в период 20–30 сентября. Ранний срок сева (10.09) также позволял получать урожайность на

сопоставимом уровне — 6,54–8,64 т/га. Напротив, поздний срок (10.10) приводил к значительной депрессии урожайности (на 0,44–0,63 т/га относительно оптимума), что исключает целесообразность его использования для данного сорта.

Сорт Полина в среднем за годы исследований формировал максимальную урожайность при посеве в ранний срок 10 сентября — 6,25–8,72 т/га. В более поздние сроки наблюдалось прогрессирующее снижение урожайности. Минимум отмечен при позднем сроке посева 10 октября. В сравнении с ранним посевом (10 сентября) урожайность при посеве в поздний срок снижалась на 0,44–1,11 т/га, а в сравнении с оптимальными сроками (период 20–30 сентября) на 0,40–0,96 т/га.

Сорт Акрос, напротив, проявил себя как пластичный к поздним срокам сева. Максимальная продуктивность (4,43–6,18 т/га) отмечена при севе 10 октября. По непаровым предшественникам урожайность при позднем севе превышала показатели, полученные в оптимальный период (20–30 сентября), на 0,40–0,59 т/га. На паровых фонах (черный и сидеральный пары) урожайность при севе 10 октября находилась на уровне, сопоставимом с оптимальными сроками (6,18 и 5,44 т/га соответственно). Ранний срок сева (10.09) приводил к существенному недобору урожая: снижение относительно позднего срока составляло 0,31–1,08 т/га в зависимости от предшественника. Полученные данные позволяют рекомендовать начинать сев сорта Акрос не ранее окончания оптимальных для зоны сроков.

Выявленные сортовые особенности позволяют осуществлять подбор сортов таким образом, чтобы оптимальный срок посева с 10 календарных дней увеличивался до 20–30 календарных дней без значимых потерь в урожайности мягкой озимой пшеницы.

Выводы/Conclusions

В ходе исследований установлена видоспецифичная реакция сортов озимой мягкой пшеницы на сроки сева, выявлен характер ее изменения в зависимости от предшественников. Для расширения периода оптимальных сроков посева мягкой пшеницы рекомендуется учитывать сортовые особенности. Для раннего срока посева (с 10 сентября) следует использовать сорта Аксинья и Полина, которые формируют максимум урожайности при раннем сроке посева по всем предшественникам, как по паровым, так и непаровым. Задержка со сроком посева этих сортов может привести к

снижению урожайности, особенно по непаровым предшественникам.

Допустим посев в ранние сроки таких высокоадаптивных сортов, как Лилит, Капризуля, Капитан, Вольный Дон, Вольница, Зодиак как по паровым, так и непаровым предшественникам. Поздние сроки посева для данных сортов не рекомендуются, так как наблюдается снижение продуктивности культуры. По достаточно жесткому предшественнику — подсолнечнику — возможен ранний посев таких сортов, как Изюминка и Лидия.

Для оптимальных сроков (20–30 сентября) выведена большая группа сортов. Среди них сорта мягкой озимой пшеницы Изюминка, Лидия, Краса Дона, Вольный Дон, Вольница, Донская степь, Жаворонок, Юбилей Дона, Шеф, Эюд, Зодиак.

По паровым предшественникам в оптимальные сроки можно высевать сорта Лилит, Капризуля и Капитан.

Поздний срок посева (10 октября) является критическим для подавляющего большинства сортов. Однако для поздних сроков посева (5–10 октября) рекомендуется использовать сорт Акрос. Этот сорт либо не снижает урожайность, в сравнении с посевом в оптимальные сроки, либо даже формирует максимальную продуктивность при посеве в поздний срок. Ранний срок посева для этого сорта недопустим.

Также выявлена группа сортов мягкой озимой пшеницы, которые либо не снижают урожайность, либо снижают ее в меньшей степени при посеве в поздний срок 10 октября. Сорт мягкой озимой пшеницы Донская степь по непаровым предшественникам и сидеральному пару практически не снижает урожайность в сравнении с оптимальными сроками посева. При посеве 10 октября продуктивность сорта снижается лишь на 0,06–0,19 т/га. Сорт Шеф при позднем сроке посева по непаровым предшественникам почти не снижает урожайность — разница между урожайностью в оптимальные сроки и при позднем сроке посева не превышает 0,02–0,24 т/га. Также при позднем сроке посева можно считать удовлетворительным использование таких сортов мягкой озимой пшеницы, как Эюд и Юбилей Дона. По непаровым предшественникам они снижают урожайность меньше, чем при посеве в ранний срок.

Таким образом, используя дифференцированный подход к выбору сортов селекции «АНЦ» Донской», можно расширить диапазон оптимальных сроков посева с 10 календарных дней до 30 календарных дней и более.

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 проводилось при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № 0706-2019-0004).

FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the State Assignment of the FSBSI «Agricultural Research Center «Donskoy»» (Topic No. 0706-2019-0004).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гузенко А.Ю., Сопунков В.Л. Влияние сроков сева и норм высевки на урожайность озимой пшеницы в условиях степной зоны черноземных почв Волгоградской области. *Аграрная наука*. 2022; (10): 100–105.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-100-105>
2. Дериглазова Г.М., Семененко Е.А. Определение оптимальных сроков посева озимой пшеницы в зависимости от предшественника в климатических условиях ЦЧР. *Достижения науки и техники АПК*. 2025; 39(9): 32–36.
EDN BBQEZY
3. Ren A.-x. et al. Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2019; 18(1): 33–42.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61980-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61980-X)
4. Радченко Л.А., Ганоцкая Т.Л., Радченко А.Ф., Бабанина С.С. Сроки сева и их влияние на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2021; (6): 95–103.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103>
5. Радченко Л.А., Ростова Е.Н., Позднякова А.П., Овчаренко Н.С. Зависимость урожая озимой пшеницы от длительности фенологических фаз и периода вегетации. *Таврический вестник аграрной науки*. 2025; (2): 224–235.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.16563897>
6. Конопля Н.И., Курдюкова О.Н. Сроки сева озимых культур в Донбассе в связи с изменением погодно-климатических условий. *Зерновое хозяйство России*. 2023; (2): 79–83.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-79-83>
7. Ляшков И.В., Бирюков К.Н. Влияние погодных условий и сроков посева на урожайность озимой пшеницы на Среднем Дону. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022; (2): 22–27.
<https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-22-27>
8. Оганян Л.Р., Шестакова Е.О., Ерошенко Ф.В. Фотосинтетическая деятельность посевов озимой пшеницы в зависимости от технологических приемов выращивания в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2022; 59(4): 8–17.
https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_8
9. Гаджиумаров Р.Г., Джандаров А.Н., Кузьминов С.А., Дригидер В.К. Сроки посева озимой пшеницы в технологии прямого посева в зависимости от предшественников. *Сельскохозяйственный журнал*. 2025; (3): 14–24.
EDN PNKDXU
10. Shah F., Coulter J.A., Ye C., Wu W. Yield penalty due to delayed sowing of winter wheat and the mitigatory role of increased seeding rate. *European Journal of Agronomy*. 2020; 119: 126120.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126120>
11. Мусинов К.К., Сурначёв А.С., Ермошкина Н.Н., Федяева А.В. Осеннее развитие и перезимовка озимой пшеницы в зависимости от сроков посева в условиях Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК*. 2025; 39(3): 39–44.
EDN XTVQGY
12. Оганян Л.Р., Ерошенко Ф.В. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от сроков сева в условиях Ставропольского края. *Достижения науки и техники АПК*. 2022; 36(5): 55–60.
https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_55
13. Оганян Л.Р., Ерошенко Ф.В., Ковтун В.И., Сторчак И.Г. Агротехника возделывания озимой пшеницы сортов селекции Северо-Кавказского ФНАЦ. *Зерновое хозяйство России*. 2023; (3): 80–86.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86>
14. Сурначёв А.С., Мусинов К.К. Оценка параметров адаптивности образцов озимой мягкой пшеницы при различных сроках посева в условиях лесостепи Западной Сибири. *Зерновое хозяйство России*. 2024; 16(2): 21–29.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-21-28>
15. Алабушев А.В., Овсянникова Г.В., Янковский Н.Г. Климатические особенности Нижнего Дона и сроки посева озимой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2009; (2): 12–14.
EDN MULSNP

REFERENCES

1. Guzenko A.Y., Sopunkov V.L. Influence of sowing dates and seeding rates on the yield of winter wheat in the conditions of the steppe zone of chernozem soils of the Volgograd region. *Agrarian science*. 2022; (10): 100–105 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-100-105>
2. Deriglazova G.M., Semenenko E.A. Evaluation of optimal sowing dates for winter wheat depending on the forecrop under the climatic conditions of the Central Black Earth Region. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2025; 39(9): 32–36 (in Russian).
EDN BBQEZY
3. Ren A.-x. et al. Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2019; 18(1): 33–42.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61980-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61980-X)
4. Radchenko L.A., Ganotskaya T.L., Radchenko A.F., Babanina S.S. Sowing dates and their effect on productivity and grain quality of the winter wheat varieties. *Grain Economy of Russia*. 2021; (6): 95–103 (in Russian).
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103>
5. Radchenko L.A., Rostova Ye.N., Pozdnyakova A.P., Ovcharenko N.S. Influence of planting date and growing season structure on winter wheat yield *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2025; (2): 224–235 (in Russian).
<https://doi.org/10.5281/zenodo.16563897>
6. Konoplya N.I., Kurdyukova O.N. Sowing time of winter crops in the Donbass due to weather and climate changes. *Grain Economy of Russia*. 2023; (2): 79–83 (in Russian).
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-79-83>
7. Lyashkov I.V., Biryukov K.N. Influence of weather conditions and sowing dates on the yield of winter wheat in the Middle Don. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; (2): 22–27 (in Russian).
<https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-22-27>
8. Oganyan L.R., Shestakova E.O., Eroshenko F.V. Photosynthetic activity of winter wheat crops depending on the technological methods of cultivation in the zone of unstable moisture of the Stavropol Region. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2022; 59(4): 8–17 (in Russian).
https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_8
9. Gadzhumarov R.G., Dzhandarov A.N., Kuzminov S.A., Dridiger V.K. Sowing time of winter wheat in No-till technology depending on the predecessors. *Agricultural journal*. 2025; (3): 14–24 (in Russian).
EDN PNKDXU
10. Shah F., Coulter J.A., Ye C., Wu W. Yield penalty due to delayed sowing of winter wheat and the mitigatory role of increased seeding rate. *European Journal of Agronomy*. 2020; 119: 126120.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126120>
11. Musinov K.K., Surnachev A.S., Ermoshkina N.N., Fedyaeva A.V. Autumn development and overwintering of winter wheat depending on sowing dates in Western Siberia. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2025; 39(3): 39–44 (in Russian).
EDN XTVQGY
12. Oganyan L.R., Eroshenko F.V. Yielding capacity of winter wheat depending on the sowing time under the conditions of the Stavropol Territory. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2022; 36(5): 55–60 (in Russian).
https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_55
13. Oganyan L.R., Eroshenko F.V., Kovtun V.I., Storck I.G. Cultivation agrotechnologies of winter wheat varieties developed by the North Caucasus FRAC. *Grain Economy of Russia*. 2023; (3): 80–86 (in Russian).
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86>
14. Surnachev A.S., Musinov K.K. Estimation of adaptability parameters of winter common wheat samples at different sowing dates in the forest-steppe of Western Siberia. *Grain Economy of Russia*. 2024; 16(2): 21–29 (in Russian).
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-21-28>
15. Alabushev A.V., Ovsyannikova G.V., Yankovskiy N.G. Climatic features of the Lower Don and the timing of sowing winter wheat. *Grain Economy of Russia*. 2009; (2): 12–14 (in Russian).
EDN MULSNP

ОБ АВТОРАХ

Александр Александрович Сухарев

кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
vniizk30@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4172-0878>

Михаил Михайлович Иванисов

кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник

<https://orcid.org/0000-0001-7395-0910>

Ирина Константиновна Копман

агроном

<https://orcid.org/0009-0000-6086-1441>

Аграрный научный центр «Донской»,
Научный городок, 3, г. Зерноград, Ростовская обл.,
347730, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr Aleksandrovich Sukharev

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
vniizk30@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4172-0878>

Mikhail Mikhailovich Ivanisov

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher

<https://orcid.org/0000-0001-7395-0910>

Irina Konstantinovna Kopman

agronomist

<https://orcid.org/0009-0000-6086-1441>

Agrarian Scientific Center "Donskoy",
3 Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347730,
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

УДК 633.358:631.53.048

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-131-137

С.А. Курбанов

Ад.И. Магомедов

Д.С. Магомедова ✉

Дагестанский государственный
аграрный университет
имени М.М. Джамбулатова,
Махачкала, Россия

✉ mds-agro@mail.ru

Поступила в редакцию: 24.01.2026

Одобрена после рецензирования: 15.05.2026

Принята к публикации: 29.05.2026

© Курбанов С.А., Магомедов Ад.И.,
Магомедова Д.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-131-137

Serazhutdin A. Kurbanov

Adilbius I. Magomedov

Diana S. Magomedova ✉

Dagestan State Agrarian University
named after M.M. Dzhambulatov,
Makhachkala, Russia

✉ mds-agro@mail.ru

Received by the editorial office: 24.01.2026

Accepted in revised: 15.05.2026

Accepted for publication: 29.05.2026

© Kurbanov S.A., Magomedov Ad.I.,
Magomedova D.S.

Влияние сроков посева и норм высева на структуру урожайности зерна перспективных сортов гороха в условиях Республики Дагестан

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Зернобобовые культуры — главный источник растительного белка в мире, а в Российской Федерации таким является горох посевной. В технологии возделывания сортов этой культуры, особенно в новых районах, важная роль в формировании высокой урожайности принадлежит установлению оптимальных сроков посева и нормы высева. В связи с этим цель полевого опыта состояла в установлении оптимального сочетания у перспективных сортов гороха посевных норм высева и сроков посева для получения наибольшей урожайности зерна.

Методы. Эмпирические исследования представлены полевыми наблюдениями, учетами и анализами, направленными на реализацию поставленной цели полевого эксперимента.

Результаты. В результате исследований выявлено влияние изучаемых факторов на густоту посевов, ростовые процессы, фотосинтетическую деятельность посевов, урожайность и адаптивность перспективных сортов. Наибольшее влияние на структуру урожайности зерна гороха оказали сроки посева. При посеве в 1 декаду марта возрастает масса зерна с одного растения, обусловленная увеличением числа бобов. Отмечена обратная корреляционная зависимость между нормой высева и массой зерна с одного растения и числа бобов. Комбинирование самого раннего срока посева и средней нормы высева (1,4 млн шт/га) обеспечивает получение сортами селекции ФИЦ «Немчиновка» Немчиновский 50 и Немчиновский 100 урожая на уровне 5 т/га, однако сорт Немчиновский 50 обладает лучшими показателями адаптивности к конкретным почвенно-климатическим условиям, так как, по результатам комплексного рейтинга, имеет наименьшую сумму баллов.

Ключевые слова: горох, сорта, сроки посева, нормы высева, урожайность, структура урожайности, адаптивность

Для цитирования: Курбанов С.А., Магомедов Ад.И., Магомедова Д.С. Влияние сроков посева и норм высева на структуру урожайности зерна перспективных сортов гороха в условиях Республики Дагестан. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 131–137. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-131-137>

Impact of Sowing Dates and Sowing Rates on Grain Yield Structure of Promising Pea Varieties in the Republic of Dagestan

ABSTRACT

Relevance. Leguminous crops are the main source of plant protein in the world, and in the Russian Federation this is sown peas. In the technology of cultivars of this crop, especially in new cultivation areas, an important role in the formation of high yields is played by the establishment of optimal sowing dates and sowing rates. Therefore, the purpose of the field experiment was to determine the most effective combination of sowing dates and sowing rates, which ensures the highest yield of promising varieties of sown peas.

Methods. Empirical studies are represented by field observations, surveys and analyses aimed at realizing the goal of the field experiment.

Results. As a result of research, the influence of the studied factors on the density of crops, growth processes, photosynthetic activity of crops, yield and adaptability of promising varieties was revealed. It was established that the timing of sowing had the greatest impact on the yield structure of pea grain. When sowing in the 1st decade of March, the mass of grain from one plant increases, mainly due to an increase in the number of beans. The inverse correlation between the seeding rate and the grain weight from one plant and the number of beans was noted. The combination of the earliest sowing period and the average sowing rate (1.4 million pcs./ha) ensures that the selection varieties of the Nemchinovka Federal Research Center Nemchinovsky 50 and Nemchinovsky 100 harvest at the level of 5 tons/ha, however, the Nemchinovsky 50 variety has the best adaptability to specific soil and climatic conditions, since it has the lowest score according to the results of the comprehensive rating

Key words: peas, varieties, sowing time, sowing rates, yield, yield structure, adaptability

For citation: Kurbanov S.A., Magomedov Ad.I., Magomedova D.S. Impact of Sowing Dates and Sowing Rates on Grain Yield Structure of Promising Pea Varieties in the Republic of Dagestan. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 131–137 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-131-137>

Введение/Introduction

В решении проблемы дефицита растительного белка важная роль принадлежит зернобобовым культурам, которые характеризуются высокой пищевой и кормовой ценностью, что способствует увеличению сбора зернобобовых культур. Сбор в период с 2020 г. по 2023 г. вырос с 1,96 до 2,95 млн тонн, или в 1,5 раза¹. Среди зерновых бобовых культур, возделываемых в Российской Федерации, наибольший удельный вес занимает горох, на долю которого приходится около 2 млн га, что составляет 67,5% от общей площади посевов зернобобовых культур. Несмотря на свои ценные качества, горох в Дагестане не получил должного распространения, о чем свидетельствуют незначительные площади посевов (около 200 га преимущественно в ЛПХ и КФХ) и низкая урожайность — 1,67 т/га². Связано это с невозможностью применения в ЛПХ и КФХ (максимальная площадь 1,6 га) современной технологии возделывания культуры, отсутствие посевного материала высокоурожайных сортов гороха и сортовой агротехники. Ранее полученные в Республике Дагестан данные по культуре гороха [1–3] позволили выявить его эффективность как сидеральной и кормовой культуры, с использованием сортов старой селекции.

В новых для ярового гороха районах возделывания и при изучении перспективных сортов, неадаптированных к этим условиям, главными элементами агротехнологий, от которых зависит реализация потенциальной урожайности сортов, служат срок посева и норма высева [4–8]. В основных районах возделывания гороха в России (Ставропольский край, Ростовская область и др.) наибольшая урожайность получена при нормах высева в диапазоне 1,2–1,4 млн шт. всхожих семян/га [9–16].

Отсутствие аналогичных данных для Республики Дагестан определили цель исследования — установить наиболее эффективное взаимодействие норм высева и сроков посева для получения максимально возможного урожая перспективных сортов гороха.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для осуществления вышеизложенной цели на орошаемых почвах учхоза Дагестанского государственного аграрного университета, расположенного в Кировском районе г. Махачкалы, в 2021–2023 гг. был проведен полевой опыт. Почвенный покров орошаемой территории опытного поля представлен лугово-каштановыми

почвами, гранулометрический состав — среднесуглинистый, содержание гумуса в пахотном 0...0,2 м слое — 2,2%, агрохимическая характеристика свидетельствует о низкой обеспеченности подвижным фосфором (16 мг/кг), средней обеспеченности легкогидролизуемым азотом (45 мг/кг) и обменным калием (240 мг/кг почвы). Содержание легкогидролизуемого азота определяли по методу Тюрина-Кононовой, подвижных соединений фосфора — по ГОСТ 26205-91³, обменного калия — по ГОСТ 26210-91⁴. Наименьшая влагоемкость активного 0,6 м слоя — 19,1%, плотность пахотного слоя — 1,25 т/м³.

Погодные условия в период вегетации гороха посевного были различными по влагообеспеченности с колебаниями гидротермического коэффициента от 0,43 в 2023 г. до 0,95 в 2022 г., когда около 70% осадков выпало в виде ливней в период бутонизации и цветения гороха, сумма активных температур за период вегетации 1213–1375 °С (по данным метеостанции в Махачкале).

В качестве объектов исследований использовался рекомендованный для Республики Дагестан сорт гороха посевного Рассвет селекции Северо-Кавказского ФНАЦ и перспективные сорта Немчиновский 50 и Немчиновский 100 селекции ФИЦ «Немчиновка». Учитывая биологические особенности гороха, а также рекомендуемые в республике сроки посева ранних яровых культур, был осуществлен полевой трехфакторный опыт по схеме:

Фактор А. Сорт гороха:

- 1) Рассвет (контроль),
- 2) Немчиновский 100,
- 3) Немчиновский 50.

Фактор Б. Срок посева:

- 1) 1 декада марта,
- 2) 2 декада марта (контроль),
- 3) 3 декада марта.

Фактор С. Норма высева:

- 1) 1,2 млн. в. с./га,
- 2) 1,4 млн. в. с./га (контроль),
- 3) 1,6 млн. в. с./га.

Площадь учетной делянки — 14 м², повторность — 4-х кратная, размещение делянок — рендомизированное, агротехника — общепринятая.

Проводили определение показателей фотосинтетической деятельности растений в посевах по методике А.А. Ничипоровича⁵, анализ структуры урожая и урожайность по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур⁶, массу 1000 зерен определяли по ГОСТ 12042-80⁷, математическую обработку данных

¹ www.rosstat.gov.ru

² URL: <http://www.fedstat.ru>

³ ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО

⁴ ГОСТ 26210-91 «Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой

⁵ Ничипорович А.А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений посевах. М.: ВАСХНИЛ. 1969; 24–32.

⁶ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. Москва. 2019; 1: 384.

⁷ ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян.

осуществляли методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову⁸, адаптивный потенциал по С.П. Мартынову⁹ и Р.А. Удачину¹⁰, S.A. Eberhart¹¹, В.В. Хангильдин¹², Л.А. Животков¹³, А.А. Грязнов¹⁴, В.А. Зыкин¹⁵

Результаты и обсуждение / Results and discussion

От фотосинтетической деятельности посевов ярового гороха, которая определяется такими показателями, как фотосинтетический потенциал посевов (ФПП), чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД ФАР), напрямую зависит урожайность культуры. Результаты трехлетних биометрических измерений и расчетов позволили выявить по показателям фотосинтетической деятельности определенные закономерности, представленные в таблице 1.

Величина урожая зависит от времени функционирования ассимиляционной поверхности, показателем которого является ФПП. Максимальный ФПП сформирован посевами перспективных сортов Немчиновский 50 и Немчиновский 100, который превышал ФПП сорта Рассвет (контроль) в среднем на 17,3%. Среди изучаемых сроков посева наибольший ФПП, вследствие более длительной вегетации, сформировался при самом раннем сроке посева (1 декада марта) у сорта Немчиновский 50 — в среднем 1550 тыс. м² × дней/га, что выше, чем у сорта Рассвет, на 19,7%. Отмечено, что возрастание нормы высева на 0,4 млн шт. всх. сем./га оказывает незначительное (по сравнению со сроками посева) воздействие на рост ФПП — всего на 9,1%.

Показателем интенсивности работы ассимиляционной поверхности является ЧПФ, который максимальным был при первом сроке посева — в среднем 7,51 г/м² × сутки, при посеве во второй декаде снижается до 5,28 г/м² × сутки,

оставаясь на том же уровне при посеве в 3 декаде — 5,31 г/м² × сутки. Переход с нормы высева с 1,2 на 1,4 млн шт. всхожих семян/га способствует росту ЧПФ на 8,4%. У всех сортов максимальная интенсивность работы ассимиляционной поверхности отмечается при комбинировании нормы высева 1,4 млн шт. всхожих семян/га и посеве в 1 декаде марта.

КПД ФАР является обобщающим показателем фотосинтетической деятельности посевов и чем выше его значение, тем эффективнее используется солнечная энергия. Результаты расчетов показали, что наибольший КПД ФАР обеспечивается при сочетании посева в 1 декаде марта с высеваем 1,4 млн шт./га — 1,32%. Наилучшее использование фотосинтетически активной радиации отмечено на посевах сорта Немчиновский 50, где

Таблица 1. Влияние сроков посева и норм высева на фотосинтетическую деятельность сортов гороха посевного (в среднем за 2021–2023 гг.)

Table 1. Influence of sowing dates and seeding rates on photosynthetic parameters of seed pea varieties (on average for 2021–2023)

Сорт	Срок посева	Норма высева, млн. в. с./га	ФПП, тыс. м ² ×дней/га	ЧПФ, г/м ² сутки	КПД ФАР, %
Рассвет, контроль	1 декада марта	1,2	1239	6,96	1,16
		1,4 — контроль	1305	7,70	1,63
		1,6	1340	7,70	1,68
	2 декада марта, контроль	1,2	1088	4,88	0,90
		1,4 — контроль	1128	5,29	1,01
		1,6	1181	5,06	1,00
	3 декада марта	1,2	931	5,46	0,88
		1,4 — контроль	983	6,37	1,07
		1,6	1051	5,34	0,93
Немчиновский 100	1 декада марта	1,2	1426	7,58	1,65
		1,4 — контроль	1505	8,09	1,84
		1,6	1533	7,37	1,73
	2 декада марта, контроль	1,2	1251	5,98	1,21
		1,4 — контроль	1330	6,20	1,32
		1,6	1355	5,90	1,26
	3 декада марта	1,2	1079	5,07	0,95
		1,4 — контроль	1214	5,07	1,02
		1,6	1256	5,06	1,04
Немчиновский 50	1 декада марта	1,2	1512	7,07	1,66
		1,4 — контроль	1563	7,81	1,90
		1,6	1575	7,29	1,76
	2 декада марта, контроль	1,2	1295	4,61	0,95
		1,4 — контроль	1363	4,98	1,07
		1,6	1404	4,62	1,01
	3 декада марта	1,2	1069	5,01	0,91
		1,4 — контроль	1125	5,54	1,03
		1,6	1185	4,84	0,93
НСР ₀₅ для частных различий			64	0,23	0,05

⁸ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.

⁹ Мартынов С.П. Оценка экологической пластичности сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1989; 3: 124–128.

¹⁰ Удачин Р.А., Головаченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы. Селекция и семеноводство. 1990; 5: 2–6.

¹¹ Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russell. Ctop. Sci. 1966; 6: 1: 36–40.

¹² Хангильдин В.В. Проявление гомеостаза у гибридов гороха посевного / В.В. Хангильдин, Р.Р. Асфондиярова // Биологические науки. 1977; 1: 116–121.

¹³ Животков Л.А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности / Л.А. Животков, З.А. Морозова, Л.И. Секутаева. Селекция и семеноводство. 1994; 2: 3–6.

¹⁴ Грязнов А.А. Карабалыкский ячмень. Кустанай: Печатный двор. 1996; 448.

¹⁵ Зыкин В.А. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа: БашГАУ. 2005; 100.

КПД возрос до 1,90% при 1,63% на посевах сорта Рассвет.

Повышение ФПП и интегрированно-го показателя фотосинтетической деятельности КПД ФАР при установлении оптимальных сроков посева и норм высева оказало существенное влияние на урожай зерна гороха посевного (табл. 2).

Полученные данные по урожайности сортов Немчиновский 50 и Немчиновский 100 позволили выявить ее повышение по сравнению с контролем на 11,5 и 19,9% соответственно. Трехлетними исследованиями также установлено, что максимальная урожайность получена при самом раннем сроке посева — 4,56 т/га, а последующие сроки посева снижали урожайность на 38,3–46,5%. Определение урожайности вариантов по фактору С позволило установить ее рост при переходе к посеву нормой 1,4 млн шт. всхожих семян/га на 11,4% и дальнейшем снижении на 3,8% при самой высокой норме высева. Максимальная урожайность гороха посевного получена по сортам Немчиновский 100 (5,03 т/га) и Немчиновский 50 (4,96 т/га), посеянных в первой декаде марта с нормой высева 1,4 млн шт. всхожих семян/га. Статистическая обработка урожайных данных методом дисперсионного анализа выявила существенные различия по всем изучаемым факторам.

При анализе структуры урожая гороха посевного отмечена разница в ее показателях при изменении сроков посева (табл. 3). В среднем, масса зерна снижалась с 456,0 до 244,4 г/м² за счет уменьшения массы зерен с одного растения в среднем на 53,6%, обусловленное снижением количества зерен с одного растения с 26,4 до 14,5 шт. и уменьшения количества семян в бобе на растении — с 9,43 до 5,52 шт.

При повышении нормы высева с 1,2 до 1,4 млн шт. всхожих семян/га увеличивается только выход зерна с 1 м² на 11,3%, но снижаются все остальные структурные показатели, кроме массы 1000 семян, которая существенно не меняется. Повышение нормы высева до 1,6 млн шт. всхожих семян/га приводит к дальнейшему снижению структурных показателей, кроме числа семян в бобе и массы 1000 семян.

Анализируя полученные данные по структуре урожая, необходимо отметить, что у перспективных сортов Немчиновский 50 и Немчиновский 100 сочетание посева в 1 декаде марта и нормы высева 1,2 млн шт. всхожих семян/га позволяет сформировать на растении большее количество бобов, обеспечивая увеличение массы зерна, полученного с единичного растения. В тоже время, повышение нормы высева до 1,4 млн шт. всхожих семян/га способствует большей густоте посевов и,

Таблица 2. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность сортов гороха посевного (в среднем за 2021–2023 гг.)

Table 2. Effect of sowing dates and sowing rates on yield varieties of sown peas (on average for 2021–2023)

Сорт	Срок посева	Норма высева, млн. в. с./га	Урожайность, т/га	Отклонения от контроля	
				т/га	%
Рассвет, контроль	1 декада марта	1,2	3,72	-0,54	-12,7
		1,4 — контроль	4,26	—	100,0
		1,6	4,30	0,04	0,9
	2 декада марта, контроль	1,2	2,28	-0,23	-9,2
		1,4 — контроль	2,51	—	100,0
		1,6	2,47	-0,04	-1,6
	3 декада марта	1,2	2,16	-0,46	-7,6
		1,4 — контроль	2,62	—	100,0
		1,6	2,33	-0,29	-11,1
Немчиновский 100	1 декада марта	1,2	4,62	-0,41	-8,2
		1,4 — контроль	5,03	—	100,0
		1,6	4,77	-0,26	-5,2
	2 декада марта, контроль	1,2	3,21	-0,23	-6,7
		1,4 — контроль	3,44	—	100,0
		1,6	3,29	-0,15	-4,4
	3 декада марта	1,2	2,34	-0,25	-9,7
		1,4 — контроль	2,59	—	100,0
		1,6	2,64	0,05	1,9
Немчиновский 50	1 декада марта	1,2	4,57	-0,39	-7,9
		1,4 — контроль	4,96	—	100,0
		1,6	4,81	-0,15	-3,0
	2 декада марта, контроль	1,2	2,54	-0,29	-10,3
		1,4 — контроль	2,83	—	100,0
		1,6	2,67	-0,16	-5,7
	3 декада марта	1,2	2,30	-0,33	-12,6
		1,4 — контроль	2,63	—	100,0
		1,6	2,39	-0,24	-9,1
НСР ₀₅ т/га (%)		A=0,04 (1,22%); B=0,11 (3,36%); C=0,04 (1,24%) AB=0,12 (3,67%); AC=0,05 (1,53%); BC=0,10 (3,06%); ABC=0,19 (5,8%)			

как следствие, максимальной урожайности зерна. Дальнейшее повышение нормы высева ухудшает структурные показатели урожая гороха посевного.

В условиях изменяющегося климата важна экологическая приспособленность изучаемых сортов к конкретным агроэкологическим условиям, от которой зависит реализация их генетического потенциала [17, 18, 19]. В связи с этим одной из задач исследований было дать всестороннюю оценку перспективным сортам гороха посевного по параметрам адаптивности. Результаты расчетов для установления наиболее адаптивных сортов гороха посевного приведены в таблице 4.

По мнению Хабибуллина К.Н. с коллегами, к адаптивному сорту относится экологически пластичный сорт, приспособленный не только к оптимуму, но также к минимуму и максимуму абиотических и биотических факторов среды. При этом, как показывает практика, в случае равной урожайности преимущество надо отдавать тому сорту, который обладает максимальной экологической приспособленностью [20].

Таблица 3. Влияние изучаемых факторов на структуру урожая гороха посевного (в среднем за 2021–2023 гг.)

Table 3. Influence of the studied factors on the structure of the crop of sowing peas (on average for 2021–2023)

Сорт	Срок посева	Норма высева, млн. в. с./га	Масса зерна, г/м²	Масса зерна, г/раст.	Количество зерен, шт./раст.	Число семян в бобе, шт.	Масса 1000 семян, г
Рассвет, контроль	1 декада марта	1,2	372	3,52	23,1	8,9	152,4
		1,4 — контроль	426	3,41	22,7	8,1	150,2
		1,6	430	3,17	20,3	7,8	156,1
	2 декада марта, контроль	1,2	228	2,15	14,3	5,1	150,3
		1,4 — контроль	251	1,99	13,2	3,3	150,8
		1,6	247	1,78	12,2	4,7	145,9
	3 декада марта	1,2	216	2,05	13,9	4,8	147,5
		1,4 — контроль	262	2,11	14,5	5,6	145,5
		1,6	233	1,69	11,7	4,5	144,4
Немчиновский 100	1 декада марта	1,2	462	4,25	32,2	10,4	132,0
		1,4 — контроль	503	3,92	30,1	10,7	130,2
		1,6	477	3,40	26,2	9,7	129,8
	2 декада марта, контроль	1,2	321	2,92	22,4	8,3	130,4
		1,4 — контроль	344	2,66	20,5	7,9	129,8
		1,6	329	2,31	17,5	7,0	132,1
	3 декада марта	1,2	234	2,20	16,9	6,5	130,2
		1,4 — контроль	259	2,02	15,7	6,3	128,7
		1,6	264	1,85	14,3	5,5	129,4
Немчиновский 50	1 декада марта	1,2	457	4,29	29,6	10,2	144,9
		1,4 — контроль	496	3,96	28,0	10,0	141,4
		1,6	481	3,51	25,1	9,1	139,8
	2 декада марта, контроль	1,2	254	2,36	16,7	6,2	141,3
		1,4 — контроль	283	2,26	16,1	6,0	140,4
		1,6	267	1,91	13,9	5,4	137,4
	3 декада марта	1,2	230	2,19	15,8	6,1	138,6
		1,4 — контроль	263	2,09	15,1	5,6	138,4
		1,6	239	1,70	12,3	4,8	138,2
НСР ₀₅ для частных различий			16,3	0,13	1,1	0,35	6,9

Таблица 4. Адаптивные свойства сортов гороха посевного при оптимальном сроке посева и оптимальной норме высева (в среднем за 2021–2023 гг.)

Table 4. Adaptive properties of seed pea varieties with optimal sowing time and optimal seeding rate (on average for 2021–2023)

Параметры адаптивной способности сортов	Рассвет, контроль	Немчиновский 100	Немчиновский 50
1. Стрессоустойчивость, т/га	-1,48	-2,28	-1,60
2. Генетическая гибкость, т/га	4,15	5,05	4,81
3. Коэффициент адаптивности	0,90	1,06	1,04
4. Экологическая устойчивость	1,43	1,58	1,40
5. Экологическая пластичность	0,84	1,24	0,92
6. Экологическая стабильность	1,45	2,49	1,32
7. Показатель интенсивности, %	34,7	45,3	32,2
8. Коэффициент вариации, %	34,5	22,7	16,9
9. Селекционная ценность сорта, т/га	2,97	3,18	3,54
10. Общая адаптивная способность, т/га	-0,49	0,28	0,21
11. Размах урожайности, %	31,1	48,0	33,7
12. Гомеостатичность	3,77	1,93	3,69
Сумма баллов	24	28	20

Расчеты показателей адаптивности по признаку «урожайность» при оптимальном сроке посева и норме высева дали понять, что рейтинговая система, учитывающая комплекс 6 основных и всех 12 показателей адаптивности, определила наиболее пластичный сорт — Немчиновский 50, набравший наименьшую сумму баллов.

Немчиновский 100.

Согласно расчетам показателей адаптивности по признаку «урожайность» при оптимальном сроке посева и норме высева, наиболее экологически пластичным к почвенно-климатическим условиям равнинной орошаемой зоны Терско-Сулакской низменности оказался сорт Немчиновский 50.

Выводы/Conclusions

Установлено, что, по показателям фотосинтетической деятельности, лучшим был сорт Немчиновский 50, у которого был сформирован максимальный фотосинтетический потенциал посевов — 1575 тыс. м² × дней/га и максимальный КПД ФАР — 1,90%. Лучшие показатели фотосинтетической деятельности посевов получены при раннем сроке посева, а более поздние сроки посева снижают ФПП на 12,3–23,9%, ЧПФ — на 38,3–46,5% и КПД ФАР — в 1,5–1,7 раза. Увеличение нормы высева до 1,6 млн шт. всхожих семян/га приводит к снижению показателей фотосинтетической деятельности.

Максимальная урожайность гороха посевного получена по сортам Немчиновский 100 (5,03 т/га) и Немчиновский 50 (4,96 т/га), посеянных в первой декаде марта с нормой высева 1,4 млн шт. всхожих семян/га. Посевы во 2 и 3 декаде марта уступают по урожайности раннему сроку посева на 40,2–44,3%, а самая низкая средняя урожайность (3,08 т/га) отмечена при норме высева 1,2 млн всхожих семян на гектар.

Структурный анализ урожая показал, что более поздние посевы и увеличение нормы высева приводят к уменьшению массы зерна и числа зерен с одного растения, снижению числа семян в бобе, но не оказывают существенного влияния на массу 1000 семян. Более высокая масса 1000 семян отмечена у сорта Рассвет — 149,2 г. при 130,1 г. у сорта

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. Цахуева Ф.П., Алемсетова Г.К. Продуктивность гороха посевного в орошаемых условиях Приморско-Каспийской подпровинции Дагестана. *Проблемы развития АПК региона*. 2022; (1): 63–67. https://doi.org/10.52671/20790996_2022_1_63
2. Астарханов И.Р., Мусаев М.Р., Исмаилова М.М. Продуктивность сортов гороха посевного в условиях Приморско-Каспийской подпровинции Республики Дагестан. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2021; 58(1): 7–12. EDN KBBZQK
3. Магомедов Н.Р., Бабаев Т.Т., Казиметова Ф.М., Абдуллаев Ж.Н., Абдуллаев А.А. Применение удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Терско-Сулакской подпровинции Дагестана. *Плодородие*. 2023; (3): 48–51. EDN OKORTB
4. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П. Влияние норм высева семян на урожайность зерна гороха в условиях Предуральской степи Республики Башкортостан. *Аграрная наука*. 2023; (5): 72–77. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-72-77>
5. Воскобулова Н.И., Верещагина А.С., Ураскулов Р.Ш. Влияние сроков посева гороха на использование продуктивной влаги. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (2): 72–75. EDN PFMMEQ
6. Филатова И.А., Нужная Н.А. Реакция перспективных сортообразцов гороха селекции Воронежского ФАНЦ им. В.В. Докучаева на норму высева. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; (4): 20–28. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-4-20-28>
7. Шурхаева К.Д., Фадеева А.Н., Хуснутдинова А.Т., Абросимова Т.Н. Влияние густоты посева на формирование продуктивности сортов гороха в зависимости от типа боба. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022; (3): 12–19. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-3-12-19>
8. Olle M., Tamm S. The effect of sowing rate and variety on the nutrient content of field peas. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B – Soil and Plant Science*. 2021; 71(3): 165–170. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1868563>
9. Вошедский Н.Н., Кулыгин В.А. Влияние элементов технологии на урожайность новых сортов гороха в условиях Нижнего Дона. *Земледелие*. 2024; (7): 19–24. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-19-24>
10. Федюшкин А.В., Пасько С.В. Эффективность возделывания гороха Премьер в зависимости от вносимых минеральных удобрений и норм высева. *Мелиорация и гидротехника*. 2023; 13(2): 212–227. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-212-227>
11. Юлдыбаев И.Р., Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П. Сравнительная оценка урожайности зерна и зеленой массы зернобобовых культур в условиях Южной лесостепи Республики Башкортостан. *Зерновое хозяйство России*. 2024; 16(2): 13–20. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-13-20>
12. Кузьминых А.Н., Мусирякова М.М. Влияние норм высева и обработки семян молибденом на урожайность и качество зерна гороха посевного. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023; (5): 57–62. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-57-62>
13. Shcherbakov V., Rudenko V. Physiological and biochemical aspects of optimising the sowing rate of spring and winter *Pisum sativum* forms. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*. 2023; 56(2): 167–180. <https://doi.org/10.46909/alse-562093>
14. Buyankin N.I., Krasnoperov A.G. Optimal time for sowing mixed summer crops for green fodder. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 663: 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012024>
15. Rudenko V., Shcherbakov V., Panfilova A., Kogut I. Peculiarities of photosynthetic activity of winter pea plants depending on the sowing rates. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2022; 26(2): 53–58. [https://doi.org/10.56407/2313-092X/2022-26\(2\)-6](https://doi.org/10.56407/2313-092X/2022-26(2)-6)
16. Hyrka A.D., Bochevar O.V., Malook V.S., Sydorenko Yu.Ya., Iliencko O.V., Alekseiiev Ya.V. Influence of predecessors, mineral fertilisers and seeding rates on pea grain yield in the Northern Steppe of Ukraine. *Grain Crops*. 2024; 8(1): 72–77. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0314>

REFERENCES

1. Tsakhueva F.P., Alemsetova G.K. Productivity of seeded peas in irrigated conditions of the Primorsko-Caspian subprovince of Dagestan. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2022; (1): 63–67 (in Russian). https://doi.org/10.52671/20790996_2022_1_63
2. Astarkhanov I.R., Musaev M.R., Ismailova M.M. Productivity of garden pea cultivars in Primorsko-Caspian subprovince of the Republic of Dagestan. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2021; 58(1): 7–12 (in Russian). EDN KBBZQK
3. Magomedov N.R., Babayev T.T., Kazimetova F.M., Abdullaev Zh.N., Abdullaev A.A. Application of fertilizers in agricultural technologies of cultivation of agricultural crops in the conditions of the Tersk-Sulak subprovince of Dagestan. *Plodorodie*. 2023; (3): 48–51 (in Russian). EDN OKORTB
4. Davletov F.A., Gainullina K.P. The influence of seeding rates on the yield of pea grain in the conditions of the Pre-Ural steppe of the Republic of Bashkortostan. *Agrarian science*. 2023; (5): 72–77 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-72-77>
5. Voskobulova N.I., Vereshchagina A.S., Uraskulov R.S. The influence of pea sowing time on productive moisture utilization. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (2): 72–75 (in Russian). EDN PFMMEQ
6. Filatova I.A., Nuzhnaya N.A. Reaction of promising varieties of peas breeding of the V.V. Dokuchaev Voronezh Federal Agrarian Scientific Center for the seeding rate. *Legumes and groat crops*. 2024; (4): 20–28 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-4-20-28>
7. Shurkhaeva K.D., Fadeeva A.N., Khusnutdinova A.T., Abrosimova T.N. The influence of sowing density on the formation of productivity of pea varieties depending on the type of bean. *Legumes and groat crops*. 2022; (3): 12–19 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-3-12-19>
8. Olle M., Tamm S. The effect of sowing rate and variety on the nutrient content of field peas. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B – Soil and Plant Science*. 2021; 71(3): 165–170. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1868563>
9. Voshedsky N.N., Kulygin V.A. The impact of elements of cultivation technology on the yield of new varieties of peas under the conditions of the Lower Don. *Zemledelie*. 2024; (7): 19–24 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-19-24>
10. Fedyushkin A.V., Pasko S.V. Efficiency of peas Premier cultivation depending on applied mineral fertilizers and sowing rates. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023; 13(2): 212–227 (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-212-227>
11. Yuldybaev I.R., Davletov F.A., Gainullina K.P. Comparative estimation of grain productivity and green mass of leguminous crops in the southern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan. *Grain Economy of Russia*. 2024; 16(2): 13–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-13-20>
12. Kuzminykh A.N., Musiryakova M.M. Influence of the norms of seeding and seed treatment with molybdenum on the yield and quality of seed peas. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023; (5): 57–62 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-57-62>
13. Shcherbakov V., Rudenko V. Physiological and biochemical aspects of optimising the sowing rate of spring and winter *Pisum sativum* forms. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*. 2023; 56(2): 167–180. <https://doi.org/10.46909/alse-562093>
14. Buyankin N.I., Krasnoperov A.G. Optimal time for sowing mixed summer crops for green fodder. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 663: 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012024>
15. Rudenko V., Shcherbakov V., Panfilova A., Kogut I. Peculiarities of photosynthetic activity of winter pea plants depending on the sowing rates. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2022; 26(2): 53–58. [https://doi.org/10.56407/2313-092X/2022-26\(2\)-6](https://doi.org/10.56407/2313-092X/2022-26(2)-6)
16. Hyrka A.D., Bochevar O.V., Malook V.S., Sydorenko Yu.Ya., Iliencko O.V., Alekseiiev Ya.V. Influence of predecessors, mineral fertilisers and seeding rates on pea grain yield in the Northern Steppe of Ukraine. *Grain Crops*. 2024; 8(1): 72–77. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0314>

17. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005; (6): 49–53. EDN HSFQAX

18. Cojocaru J., Melucă C., Sturzu R. Testing Some Varieties of Peas in the Southern Area of Romania. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2025; 11(1): 1–9. <https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20251101.11>

19. Shakirzyanova M.S., Shagaev N.A. New Varieties of Seed Peas for a Wide Area of Cultivation. Popkova E.G., Polukhin A.A., Ragulina J.V. (eds.). *Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security (ISC 2021). Conference proceedings*. Cham: Springer. 2022; 77–85. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93155-1_10

20. Хабибуллин К.Н., Ашиев А.Р., Скулова М.В. Оценка адаптивности продуктивности растений коллекции гороха посевного. *Зерновое хозяйство России*. 2020; (1): 33–36. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-33-36>

ОБ АВТОРАХ

Серажутдин Аминович Курбанов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
kurbanovsa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9390-5180>

Адильбий Ильмиевич Магомедов

аспирант
adilbiy.magomedov94@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0002-4850-1368>

Диана Султановна Магомедова

доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Российской академии наук
mds-agro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7559-2456>

Дагестанский государственный аграрный университет
имени М.М. Джамбулатова,
ул. им. М. Гаджиева 180, Махачкала, 367032, Россия

17. Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2005; (6): 49–53 (in Russian). EDN HSFQAX

18. Cojocaru J., Melucă C., Sturzu R. Testing Some Varieties of Peas in the Southern Area of Romania. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2025; 11(1): 1–9. <https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20251101.11>

19. Shakirzyanova M.S., Shagaev N.A. New Varieties of Seed Peas for a Wide Area of Cultivation. Popkova E.G., Polukhin A.A., Ragulina J.V. (eds.). *Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security (ISC 2021). Conference proceedings*. Cham: Springer. 2022; 77–85. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93155-1_10

20. Khabibullin K.N., Ashiev A.R., Skulova M.V. The estimation of the adaptability of collection pea plants productivity. *Grain Economy of Russia*. 2020; (1): 33–36 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-33-36>

ABOUT THE AUTHORS

Serazhutdin Aminovich Kurbanov

Doctor of Agricultural Sciences; Professor
kurbanovsa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9390-5180>

Adilbiy Ilmiaminovich Magomedov

Postgraduate
adilbiy.magomedov94@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0002-4850-1368>

Diana Sultanovna Magomedova

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences
mds-agro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7559-2456>

Dagestan State Agrarian University named
after M.M. Dzhambulatov,
180 Gadzhiev st, Makhachkala, 367032, Russia

17 - 19 СЕНТЯБРЯ 2026

МВЦ «МинводыЭКСПО»
г. Минеральные Воды

PRO ОЗЕЛЕНЕНИЕ & РАСТЕНИЯ

Международная выставка
декоративного питомниководства
и зелёных технологий

2 500+ м² Выставочной
площади

100+ Компаний-
участников

1 500 Профессионалов
отрасли

10+ Стран
участниц

15+

Мероприятий

80+

Топ-спикеров



В.И. Старчак ✉

Р.Р. о. Гусейнов

Д.А. Степанченко

Д.С. Семин

С.С. Куколева

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», Саратов, Россия

✉ viktorija_starchak@rambler.ru

Поступила в редакцию: 03.09.2025

Одобрена после рецензирования: 15.05.2026

Принята к публикации: 29.05.2026

© Старчак В.И., Гусейнов Р.Р. о., Степанченко Д.А., Семин Д.С., Куколева С.С.

Viktoriya I. Starchak ✉

Rauf R.o. Guseynov

Denis A. Stepanchenko

Dmitriy S. Semin

Svetlana S. Kukoleva

Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn «Rossorgo», Saratov, Russia

✉ viktorija_starchak@rambler.ru

Received by the editorial office: 03.09.2025

Accepted in revised: 15.05.2026

Accepted for publication: 29.05.2026

© Starchak V.I., Huseynov R.R.o., Stepanchenko D.A., Semin D.S., Kukoleva S.S.

Корреляционные связи морфометрических признаков веничного сорго

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Сорго — уникальный растительный объект по своим биологическим особенностями и по хозяйственным признакам. Главное назначение веничного (технического) сорго — изготовление веников и щеток. Зерно в измельченном виде является полноценным концентрированным кормом, а листья и стебли используются при силосовании. Для повышения эффективности селекции необходимо всесторонне учитывать корреляционные связи между комплексом изучаемых признаков культуры. Цели исследований — изучение вегетативных и генеративных признаков, а также элементов структуры, анализ средних и сильных корреляционных связей.

Методы. Объектами исследования являлись 27 образцов веничного сорго. Их выращивали в течение 2022–2024 гг. на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» и оценивали в соответствии с общепринятыми рекомендациями и методиками.

Результаты. Установлена вариабельность основных морфологических признаков веничного сорго. Проведен факторный анализ по 8 признакам и 27 сортообразцам. Выявлены сильные и средние корреляционные связи, признаки, вносящие наибольший вклад в накапливаемую дисперсию. На долю первого гипотетического фактора приходится 32,26% (наибольшее значение у признаков: выдвинутость ножки метелки, площадь флагового и наибольшего листьев).

Ключевые слова: веничное сорго, коллекционный образец, фактор, высота, масса 1000 зерен, урожайность

Для цитирования: Старчак В.И., Гусейнов Р.Р. о., Степанченко Д.А., Семин Д.С., Куколева С.С. Корреляционные связи морфометрических признаков веничного сорго. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 138–144.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-138-144>

Correlation of morphometric features of broom sorghum

ABSTRACT

Relevance. Sorghum is a unique plant species, both in terms of its biological characteristics and its economic value. The main purpose of broom sorghum (also known as technical sorghum) is to produce brooms and brushes. The grain, when crushed, is a high-quality concentrated feed, while the leaves and stems are used for silage. To improve the efficiency of breeding, it is important to consider the correlations between the various characteristics of the crop. Our research aims to study the vegetative, generative, and structural characteristics of sorghum, as well as to analyze the moderate and strong correlations between these characteristics.

Methods. The objects of the study were 27 samples of broom sorghum, which were grown during 2022–2024 on the experimental field of the Russian Research Institute of Sorghum and were evaluated in accordance with generally accepted recommendations and methods.

Results. The variability of the main morphological features of broom sorghum was established. A factor analysis was conducted on 8 features and 27 varieties. Strong and medium correlations were identified, as well as the features that contribute the most to the accumulated variance. The first hypothetical factor accounts for 32,26% (the highest value is for the features: the prominence of the panicle stem, the area of the flag leaf, and the largest leaf).

Key words: broom sorghum, collection sample, hypothetical factor, height, weight of 1000 grains, yield

For citation: Starchak V.I., Huseynov R.R.o., Stepanchenko D.A., Semin D.S., Kukoleva S.S. Correlations of morphometric features of broom sorghum. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 138–144 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-138-144>

Введение/Introduction

Уникальность веничного сорго заключается в его применении как технической культуры для изготовления веников, что ставит его в выгодное положение по сравнению с другими видами в контексте пищевой безопасности [1]. В результате изучения генофонда *Sorghum bicolor* L. Moench было обнаружено достаточное количество генотипов, демонстрирующих значительное генетическое разнообразие и обладающих ценными селекционными признаками. Это создает прочную основу для успешной селекции новых сортов и гибридов. Систематический ежегодный мониторинг генетического фонда веничного сорго, сопровождающийся отбором лучших константных форм, позволил выявить новые продуктивные генотипы. Эти формы характеризуются улучшенным качеством биомассы и зерна, высокой технологичностью соцветий и высоким адаптационным потенциалом, что способствует постоянному пополнению и расширению генофонда института [2, 3]. Разработка и последующее внедрение в производственный процесс новых разновидностей веничного сорго обеспечит стабильное снабжение высококачественным сырьем для производства веников. Это, в свою очередь, позволит удовлетворить растущий потребительский спрос на экологически чистые товары и сократить зависимость от импорта аналогичной продукции из других регионов [4].

Корреляционный анализ растений — это метод изучения взаимосвязей между признаками растений, который используется в биологических и селекционных исследованиях для определения критериев отбора и моделирования параметров новых сортов, а также для изучения адаптивных характеристик и биологических особенностей отдельных генотипов и популяций устойчивости признаков продуктивности, дивергенции систематических категорий растений [5].

Такого вида анализ растений актуален у различных видов зерновых культур. Корреляционные взаимосвязи у веничного сорго наблюдались в исследованиях по загрязнению грунта феноантропом, что повлияло на все исследуемые морфологические и физиолого-биохимические характеристики растения сорго веничного. Установлено, что активность тирозиназ в тканях, корнях и листьях положительно коррелировала с уровнем загрязнения на всем протяжении эксперимента, а оксидазы обнаруживали активность лишь в первый месяц, она также положительно коррелировала с концентрацией феноантрена [6].

Отмечено, что степень корреляционных взаимосвязей основных хозяйственно-ценных признаков образцов сахарного сорго в засушливых условиях Нижнего Поволжья различается и изменяется от отрицательной до средней положительной, также отмечена достаточно тесная положительная взаимосвязь урожайности биомассы и зерна ($r = 0,70$), средняя корреляция с мас-

сой 1000 семян ($r = 0,41$) и площадью наибольшего листа ($r = 0,39$) [7].

Исследование корреляции признаков зернового сорго показало, что некоторые характеристики оказывают существенное влияние на урожайность, объясняя более 5% ее вариативности. Установлена положительная корреляция урожайности с длиной метелки, размером наибольшего листа, толщиной междоузлий, площадью флагового и наибольшего листа, а также с количеством и массой зерна с метелки [8, 9].

В работе И.Ф. Деминой представлен анализ генотипических корреляций между урожайностью и элементами ее структуры у сортообразцов яровой мягкой пшеницы в условиях Пензенской области. Исследование показало, что для эффективного повышения продуктивности яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье селекционную работу следует сосредоточить на отборе по признакам «количество зерен в колосе» и «масса зерна с колоса». Эти показатели продемонстрировали наиболее сильную корреляцию с урожайностью испытанных сортообразцов (коэффициенты корреляции $r = 0,706$ – $0,816$ и $r = 0,754$ – $0,875$ соответственно), что открывает перспективы для создания более урожайных сортов [10].

В исследованиях Владимировой Е.С. при изучении корреляционного анализа мягкой яровой пшеницы в условиях Центральной Якутии была выявлена тесная связь продолжительности вегетационного периода с озерненностью ($r = 0,70$), с массой 1000 зерен ($r = 0,70$), высотой растений ($r = 0,80$). Также сильную положительную связь показали озерненность с массой 1000 зерен ($r = 0,80$ – $0,90$) и высотой растений ($r = 0,80$). Урожайность зерна достоверно сопряжена с продуктивной кустистостью и высотой растений ($r = 0,90$), продуктивная кустистость — с высотой растений ($r = 0,80$) [11].

В статье Мельниковой О.В. и др. описывается количественная изменчивость и корреляционная зависимость урожайности и показателей качества зерна пшеницы мягкой яровой. Проведенный множественный корреляционно-регрессионный анализ показал, что между урожайностью зерна сортов пшеницы мягкой яровой и массой 1000 зерен имеется прямая, средняя по тесноте связь ($r = 0,57$), между урожайностью и натурой зерна не было установлено прямой и существенной зависимости ($r = -0,15$). В то время как между показателями массы 1000 зерен и натуры зерна отмечалась средняя положительная связь ($r = 0,30$, $d = 0,09$) [12].

Чтобы эффективнее создавать новые сорта растений, которые будут обладать нужными свойствами, важно понимать, как связаны между собой различные признаки. Особенно актуальны исследования по созданию генофонда веничного сорго, адаптированного к условиям Нижнего Поволжья [13]. С помощью метода корреляционного анализа можно определить, насколько сильна

и в каком направлении эта связь. Это очень помогает в работе по выведению новых сортов различных культур. Целью исследования является оценка корреляционных связей между селекционными признаками вегетативных, генеративных признаков и элементов ее структуры у образцов веничного сорго, установление значимых связей изучаемых признаков между собой.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в период с 2022 по 2024 гг. на опытном поле ФГБНУ Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы «Россорго». Опытное поле расположено в Саратовской области Российской Федерации на Приволжской возвышенности, в 5 км от города Саратова, в южной части черноземной зоны.

Объектами исследования являются 27 образцов веничного сорго: 25 образцов представлены коллекцией ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (к-419, к-518, к-416, к-324, к-28А, к-588, Новоалексеевское №5, к-1007, к-537, к-611, к-515, к-418, к-34, Азововеничное, Венскор, Зерноградское 38, Артем, Венста, к-113В, Декоративное, к-396, Scarb, д-510, к-475, к-28П) и 2 сорта собственной селекции института (Мастер, Трудовой).

Образцы представляют интерес, так как являются донорами важных хозяйственно-ценных и технологических признаков: (табл. 1).

Агротехника выращивания включала в себя: весеннее боронование в два следа, также до посева культуры — две культивации, предшествующим являлся черный пар. Посев веничного сорго проводился во второй декаде мая широкорядным способом (70,0 см) селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10 (ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия).

Закладка делянок и оценка селекционных признаков растений осуществлена согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹. Площадь делянок составила 7,7 м², повторность — трехкратная, размещение — рендомизированное, густоту стояния растений корректировали вручную — 100–120 тыс. раст./га.

Междурядные культивации проводили по мере отрастания сорных растений. Гидротермический коэффициент увлажнения в годы исследования составил: 2022 г. — 0,75; 2023 г. — 0,69;

Таблица 1. Дифференциация сортов веничного сорго по морфометрическим признакам и урожайности зерна

Table 1. Differentiation of broom sorghum varieties by morphometric characteristics and grain yield

Параметр	Сорт
Высота растений	Мастер, Зерноградское 38, Венста
Длина соцветия	Мастер, Трудовой, к-419, к-113В, Scarb
Выдвинутость ножки метелки	Трудовой, к-1007, к-515, к-418, к-34, Венскор, Зерноградское 38, Артем, Декоративное
Длина стержня метелки	Мастер, к-416, к-324, Новоалексеевское №5, к-1007, Венста, к-113В, к-28П
Площадь листьев, см ²	к-416, к-324, к-113В, к-396, Scarb, д-510, к-475, к-28П
Масса 1000 зерен	Трудовой, к-518, к-824, к-28А, к-588, Новоалексеевское №5, к-537, к-396
Урожайность зерна	к-324, к-28А, к-588, Новоалексеевское №5, к-537, к-34, Зерноградское 38, Декоративное

2024 г. — 0,83. (по методике Селянинова Г.Т.)². Сумма активных температур изменялась в интервале 2516–2557 °С, а количество осадков — 176,2–189,2 мм.³

Оценку хозяйственно-ценных признаков проводили согласно Широкого унифицированного классификатора СЭВ (Совета экономической взаимопомощи) и международного классификатора СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench*⁴.

Все измерения проведены при помощи измерительной рулетки в полевых условиях (СИ поверено). Высоту растений измеряли в фазу молочно-восковой спелости — от корневой шейки до верхушки метелки главного стебля. Длину метелки, выдвинутость ножки, а также длину стержня метелки измеряли перед уборкой. Параметры флагового и наибольшего листа измеряли после цветения растения. Урожай зерна подсчитывали по учетному снопу.

Площадь листовой поверхности рассчитывали по формуле:⁵

$$S = D \times L \times 0,746$$

где S — площадь поверхности листа;

D — ширина листа;

L — длина листа;

0,746 — поправочный коэффициент для сорговых культур.

Массу 1000 зерен определяли согласно ГОСТ 10842-89⁶.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции Агрос 2.09 (Россия), оценка

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / ред. В.И. Головачев, Е.В. Кириловская. — М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 1989. — 194 с.

² Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК)

³ По данным химико-аналитической лаборатории ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов

⁴ Якушевский Е.С. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench* / Е.С. Якушевский, С.Г. Варадинов В. А. Корнейчук (СССР), Л. Банья (ВНР) // ВНИИР им. Н.И. Вавилова (ВИР). — Л.: — 1982. — С. 34.

⁵ Чирков Ю.И. Определение площади листьев расчетным методом / Ю.И. Чирков // М. — 1961. — С. 5-6.

⁶ ГОСТ 10842-89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян (с Изменением N 1). М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. — С. 10.

статистических параметров выборки — методом главных компонент (РАН, Россия)⁷.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Морфологические признаки имеют сложную наследственную основу, проявляющуюся в непрерывной фенотипической изменчивости вследствие модифицирующего влияния внешней среды. Кроме выявления высокопродуктивных сортообразцов, практический интерес представляет варьирование изучаемых параметров сорго [14, 15].

Основными технологическими критериями, предъявляемыми к сортам веничного сорго, являются следующие показатели: оптимальная высота для изготовления сырья и выравнивание травостоя для обеспечения технологичности всего производственного цикла (150–170 см), длина соцветия для формирования венчиков, метел и щеток (50 см и более), отсутствие или незначительная длина центрального стержня метелки (до 3 см), устойчивое вызревание в любые годы, хорошая семенная продуктивность, технологичность соцветий [13, 16, 17]. Для выявления закономерности изменчивости признаков изучена вариабельность значений сортообразцов сорго, представленная в таблице 2.

На основании анализа общей характеристики изменчивости параметров веничного сорго установили, что к сильноварьирующим при-

знакам ($V > 20,0\%$) следует отнести: выдвинутость ножки метелки, длину стержня, площадь наибольшего листа, площадь флагового листа, урожайность зерна. Остальные изучаемые признаки относятся к средневарьируемым ($20,0\% > V > 10,0\%$).

Фенотипические корреляции нашли широкое использование в селекции растений, так как позволяют обнаружить устойчивые связи между различными признаками и использовать эти знания в программах при создании новых сортов и гибридов [18]. При анализе больших матриц данных возникает необходимость оптимизации анализа корреляционных связей [19–20]. В матрице установлено 15 отрицательных и 13 положительных значений коэффициентов корреляции (табл. 3).

Группирование коэффициентов корреляции позволяет оценить общий характер взаимодействия показателей, включенных в матрицу экспериментальных данных. Наибольший интерес представляют сильные ($r \geq 0,7$) и средние ($0,5 \leq r \leq 0,7$) корреляционные связи. В исследованиях выявлена сильная корреляционная связь между площадью наибольшего и флагового листьев ($r = 0,702$), средняя связь наблюдалась у таких признаков, как выдвинутость ножки метелки и площадь флагового листа ($r = -0,623$).

Наибольший общий вклад в накапливаемую дисперсию суммарно вносят первые 4 фактора,

Таблица 2. Общая характеристика изменчивости параметров сортообразцов веничного сорго, 2022–2024 гг.

Table 2. General characteristics of the variability of parameters of broom sorghum varieties, 2022–2024

№	Признак	x	Sx	S ²	S	V	Лимиты	
							x(min)	x(max)
1	Высота растений при созревании, см	201,0	4,67	589,11	24,27	12,1	154,4	250,1
2	Длина метелки, см	42,4	1,65	73,81	8,59	20,2	28,6	62,9
3	Выдвинутость ножки метелки, см	7,0	1,17	36,81	6,01	86,4	0	18,8
4	Длина стержня метелки, см	7,3	1,10	32,83	5,73	78,5	0	23,0
5	Площадь наибольшего листа, см ²	307,1	16,66	7492,9	86,56	28,2	175,8	497,1
6	Площадь флагового листа, см ³	142,2	9,15	2176,7	46,66	32,8	64,7	233,4
7	Масса 1000 зерен, г	19,0	0,59	9,3	3,04	16,0	14,6	27,2
8	Урожайность зерна, т/га	3,0	0,21	1,2	1,09	35,8	1,55	5,00

Примечание: x — среднее значение; Sx — ошибка средней; S² — дисперсия; S — стандартное отклонение; V — коэффициент вариации; x(min) — минимальное значение признака; x(max) — максимальное значение признака.

Таблица 3. Матрица коэффициентов корреляции коллекционного питомника веничного сорго

Table 3. Matrix of correlation coefficients for a collection of broom sorghum

№	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,000	–	–	–	–	–	–	–
2	-0,235	1,000	–	–	–	–	–	–
3	-0,173	-0,386	1,000	–	–	–	–	–
4	0,236	0,162	0,123	1,000	–	–	–	–
5	0,345	0,192	-0,446	-0,277	1,000	–	–	–
6	0,395	0,330	-0,623	-0,119	0,702	1,000	–	–
7	0,266	-0,074	-0,280	-0,120	0,108	0,015	1,000	–
8	0,138	-0,214	-0,050	-0,296	-0,238	-0,155	0,354	1,000

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: 2011. — 352 с.

что составляет 82,7% (табл. 4). Вклад в 1-ый фактор вносят признаки: выдвинутость ножки метелки ($r = 0,79$), площадь флагового ($r = -0,90$) и наибольшего листьев ($r = -0,83$), высота растений при созревании ($r = -0,44$), длина метелки ($r = -0,40$).

На долю 2 фактора в накапливаемой дисперсии приходится 21,43%, что включает в большей степени суммарный эффект генеративных признаков масса 1000 зерен ($r = -0,67$), урожайность зерна ($r = -0,79$) длина метелки ($r = 0,55$).

Третий фактор составляет 15,95% и определяется в большей степени вкладом признаков: высота растений ($r = -0,75$) и длина стержня метелки ($r = -0,74$).

Вклад четвертого фактора (13,04%) определяется в значительной мере признаком «длина метелки» ($r = 0,56$), длина стержня метелки ($r = 0,45$) и массой 1000 зерен ($r = 0,42$).

Выводы/Conclusions

По итогу проведенных исследований можно отметить высокую изменчивость значений коэффициентов корреляций между признаками в зависимости от генотипических особенностей изучаемого материала. Так, в коллекционном питомнике веничного сорго установлены различные по величине интервалы изменчивости хозяйственно-ценных признаков.

Таблица 4. Факторные нагрузки при изучении селекционного питомника веничного сорго, 2022–2024 гг.

Table 4. Factor loads when studying the selection nursery of broom sorghum, 2022–2024

Признак	Z1	Z2	Z3	Z4
Высота растений при созревании, см	-0,44	-0,38	-0,75	-0,11
Длина метелки, см	-0,40	0,55	0,29	0,56
Выдвинутость ножки метелки, см	0,79	0,06	-0,18	-0,34
Длина стержня метелки, см	0,16	0,41	-0,74	0,45
Площадь наибольшего листа	-0,83	0,04	0,02	-0,38
Площадь флагового листа	-0,90	0,11	-0,04	-0,14
Масса 1000 зерен	-0,25	-0,67	-0,04	0,42
Урожайность зерна	0,12	-0,79	0,19	0,26
Дисперсия	2,58	1,71	1,28	1,04
Дисперсия, %	32,26	21,44	15,94	13,03
Накопленная дисперсия, %	32,26	53,69	69,64	82,68

Примечание: Z 1...Z 4 – фактор.

На первом этапе статистической обработки полученных данных проведен корреляционный анализ, позволивший установить значимые связи между изучаемыми признаками. В частности, между площадью наибольшего и флагового листьев выявлена сильная положительная корреляция ($r \geq 0,7$), а также между выдвинутостью ножки метелки и площадью флагового листа зафиксирована средняя отрицательная корреляция ($0,5 \leq r \leq 0,7$).

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 согласно государственному заданию № 123011200030-9 и 124020300043-9 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

FINANCING

The research was carried out within the framework of the theoretical plan of the Federal State Budgetary Research Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn according to the state task No. 123011200030-9 and 124020300043-9 of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Турковская О.В., Муратова А.Ю., Дубровская Е.В., Бондаренкова А.Д., Любунь Е.В. Фиторемедиационный потенциал сорго веничного для очистки земель от углеводородов нефти и тяжелых металлов. *Аграрный научный журнал*. 2020; (12): 50–54. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp50-54>
2. Старчак В.И., Семин Д.С., Бочкарева Ю.В., Ефремова И.Г., Степанченко Д.А., Куколева С.С. Использование перспективных линий веничного сорго в селекции сортов для богарных условий Нижневолжского региона. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024; (11). <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.13>
3. Титов В.Н., Степанченко В.И., Бочкарева Ю.В. Оценка коллекционных образцов веничного сорго по хозяйственно-ценным признакам. *Орошаемое земледелие*. 2023; (4): 11–15. EDN KMRBCF
4. Жук Е.А. Инновационные разработки по использованию веничного сорго в кормопроизводстве. *Таврический вестник аграрной науки*. 2017; (2): 45–51. EDN ZFUWVB
5. Ившин Г.И., Ившина В.В. Эффективность корреляционного анализа на заключительном этапе селекции вики посевной. *Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. Сборник научных трудов*. М. 2019; 21: 5–14. <https://doi.org/10.33814/MAK-2019-21-69-5-14>

REFERENCES

1. Turkovskaya O.V., Muratova A.Yu., Dubrovskaya E.V., Bondarenkova A.D., Lyubun E.V. Phytoremediation potential of sorghum bicolor for soil decontamination from oil hydrocarbons and heavy metals. *Agrarian scientific journal*. 2020; (12): 50–54 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp50-54>
2. Starchak V.I., Semin D.S., Bochkareva Y.V., Efremova I.G., Stepanchenko D.A., Kukoleva S.S. Use of perspective lines of paniculate sorghum in selection of varieties for rainfed conditions of the Lower Volga region. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024; (11) (in Russian). <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.13>
3. Titov V.N., Stepanchenko V.I., Bochkareva Yu.V. Assessment of collection samples of broom sorghum by economically valuable characteristics. *Irrigated agriculture*. 2023; (4): 11–15 (in Russian). EDN KMRBCF
4. Zhuk E.A. Innovations on the use of broomcorn sorghum in forage production. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2017; (2): 45–51 (in Russian). EDN ZFUWVB
5. Ivshin G.I., Ivshina V.V. Efficiency of the correlation analysis at the final stage of selection a common vetch. *Multifunctional adaptive feed production. Collection of scientific articles*. Moscow. 2019; 21: 5–14 (in Russian). <https://doi.org/10.33814/MAK-2019-21-69-5-14>

6. Дубровская Е.В., Поликарпова И.О., Муратова А.Ю., Позднякова Н.Н., Чернышова М.П., Турковская О.В. Изменение ростовых и физиолого-биохимических параметров сорго веничного в присутствии фенантрена. *Физиология растений*. 2014; 61(4): 565–573. <https://doi.org/10.7868/S0015330314040071>
7. Кибальник О.П., Семин Д.С., Ефремова И.Г., Кибальник С.В. Корреляционные взаимосвязи хозяйственноценных признаков образцов сахарного сорго в засушливых условиях Нижнего Поволжья. *Аграрная наука*. 2023; (7): 92–96. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-92-96>
8. Старчак В.И., Жужукин В.И., Жук Е.А., Бычкова В.В. Оценка корреляционных взаимосвязей морфофизиологических признаков зернового сорго селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». *Аграрный научный журнал*. 2020; (6): 38–42. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i6pp38-42>
9. Awan Z.K. et al. How to improve *Sorghum bicolor* (L.) Moench production: An Overview. *Life Science Journal*. 2015; 12(3s): 99–103.
10. Дёмина И.Ф. Сопряженность урожайности и элементов ее структуры у образцов яровой мягкой пшеницы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(4): 477–484. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.477-484>
11. Владимирова Е.С. Корреляционный анализ исходного материала для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Центральной Якутии. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (5): 31–37. EDN DRSYAN
12. Мельникова О.В., Ториков В.Е., Никифоров В.М., Тищенко Е.В. Количественная изменчивость и корреляционная зависимость урожайности и показателей качества зерна пшеницы мягкой яровой. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (3): 21–27. EDN OSZIAJ
13. Ефремова И.Г., Кибальник О.П., Семин Д.С., Деревнин А.А., Лещева В.С. Селекция веничного сорго для засушливых условий Нижневолжского региона. *Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата. Сборник материалов II международной научно-практической конференции*. Саратов: Амирит. 2022; 53–58. EDN CADNHB
14. Жужукин В.И., Гаршин А.Ю., Семин Д.С. Метод «главных компонент» в анализе взаимосвязей модельной популяции сахарного сорго. *Агробизнес и экология*. 2015; (1): 12–15. EDN VZKUKX
15. Болдырева Л.Л., Бритвин В.В., Филатова В.Д. Оценка новых сортов сорго веничного в условиях предгорной зоны Республики Крым. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2017; 9: 5–9. EDN ZIWDGF
16. Костина Г.И., Жук Е.А. Селекция веничного сорго на качество сырья. *Кукуруза и сорго*. 2010; (3): 23–26. EDN NRADGP
17. Копылович В.Л., Бондаренко А.В., Шестак Н.М. Результаты исследований по созданию сорта сорго веничного. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2017; 53: 348–355. EDN XUTSBF
18. Starchak V., Stepanchenko D., Matvienko E. Use of Factor Analysis in Grain Sorghum Breeding. *BIO Web of Conferences*. 2022; 43: 01020. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224301020>
19. Кибальник О.П., Бычкова В.В., Ерохина А.В. Использование корреляционного анализа в селекции зернового сорго для засушливых регионов. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2024; (3): 36–44. EDN PLGAXU
20. Бритвин В.В., Болдырева Л.Л., Ишмакова Н.И. Сравнительная оценка перспективных сортов сорго веничного в условиях Республики Крым. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2023; 35: 43–48. EDN LSJEVS
6. Dubrovskaya E.V., Polikarpova I.O., Muratova A.Y., Pozdnyakova N.N., Chernyshova M.P., Turkovskaya O.V. Changes in physiological, biochemical, and growth parameters of sorghum in the presence of phenanthrene. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2014; 61(4): 529–536. <https://doi.org/10.1134/S1021443714040074>
7. Kibalnik O.P., Semin D.S., Efremova I.G., Kibalnik S.V. Correlation relationships of economically valuable characteristics of sugar sorghum samples in arid conditions of the Lower Volga region. *Agrarian science*. 2023; (7): 92–96 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-92-96>
8. Starchak V.I., Zhuzhukin V.I., Zhuk E.A., Bychkova V.V. Assessment of the correlation of interrelations of morphological characteristics of the grain sorghum. *Agrarian scientific journal*. 2020; (6): 38–42 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i6pp38-42>
9. Awan Z.K. et al. How to improve *Sorghum bicolor* (L.) Moench production: An Overview. *Life Science Journal*. 2015; 12(3s): 99–103.
10. Demina I.F. Conjugacy of yield and its structural elements in spring soft wheat samples. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(4): 477–484 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.477-484>
11. Vladimirova E.S. Correlation analysis of the basic material for spring soft wheat selection under conditions of Central Yakutia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (5): 31–37 (in Russian). EDN DRSYAN
12. Melnikova O.V., Torikov V.E., Nikiforov V.M., Tishchenko E.V. Quantitative variability and correlation dependence of productivity and grain quality indicators of spring soft wheat. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2020; (3): 21–27 (in Russian). EDN OSZIAJ
13. Efremova I.G., Kibalnik O.P., Semin D.S., Derevnin A.A., Leshcheva V.S. Breeding of broom sorgho for the dry conditions of the Lower Volga region. *Scientific support for sustainable development of the agro-industrial complex in the context of climate aridization. Collection of materials of the II International scientific and practical conference*. Saratov: Amirit. 2022; 53–58 (in Russian). EDN CADNHB
14. Zhuzhukin V.I., Garshin A.Yu., Semin D.S. The method of «principal components» in the analysis of the relationships of a model population of sugar sorghum. *Agrobusiness & Ecology*. 2015; (1): 12–15 (in Russian). EDN VZKUKX
15. Boldyreva L.L., Britvin V.V., Filatova V.D. Estimation of new varieties of technical sorghum in the conditions of Republic of Crimea. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2017; 9: 5–9 (in Russian). EDN ZIWDGF
16. Kostina G.I., Zhuk E.A. Broomcorn selection for raw materials quality. *Maize and sorghum*. 2010; (3): 23–26 (in Russian). EDN NRADGP
17. Kopylovich V.L., Bondarenko A.V., Shestak N.M. Research results of broomcorn variety development. *Arable Farming and Plant Breeding in Belarus*. 2017; 53: 348–355 (in Russian). EDN XUTSBF
18. Starchak V., Stepanchenko D., Matvienko E. Use of Factor Analysis in Grain Sorghum Breeding. *BIO Web of Conferences*. 2022; 43: 01020. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224301020>
19. Kibalnik O.P., Bychkova V.V., Erokhina A.V. Use of correlation analysis in grain sorghum selection for arid regions. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2024; (3): 36–44 (in Russian). EDN PLGAXU
20. Britvin V.V., Boldyreva L.L., Ishmakova N.I. Comparative assessment of prospective varieties of broom sorghum under conditions of the Republic of Crimea. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2023; 35: 43–48 (in Russian). EDN LSJEVS

ОБ АВТОРАХ

Виктория Игоревна Старчак

кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
viktorija_starchak@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7312-4547>

ABOUT THE AUTHORS

Victoria Igorevna Starchak

Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
viktorija_starchak@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7312-4547>

Рауф Рамис оглы Гусейнов

аспирант
guseinovroman27@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-8276-7839>

Денис Александрович Степанченко

кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
0709-den@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8263-188X>

Дмитрий Сергеевич Семин

кандидат сельскохозяйственных наук,
главный научный сотрудник
sds-balashov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-5256>

Светлана Сергеевна Куколева

кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
lily74-88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0582-9024>

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы,
1-й Институтский пр-д, 4, Саратов, 410050, Россия

Rauf Ramis oglu Huseynov

postgraduate student
guseinovroman27@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-8276-7839>

Denis Aleksandrovich Stepanchenko

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
0709-den@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8263-188X>

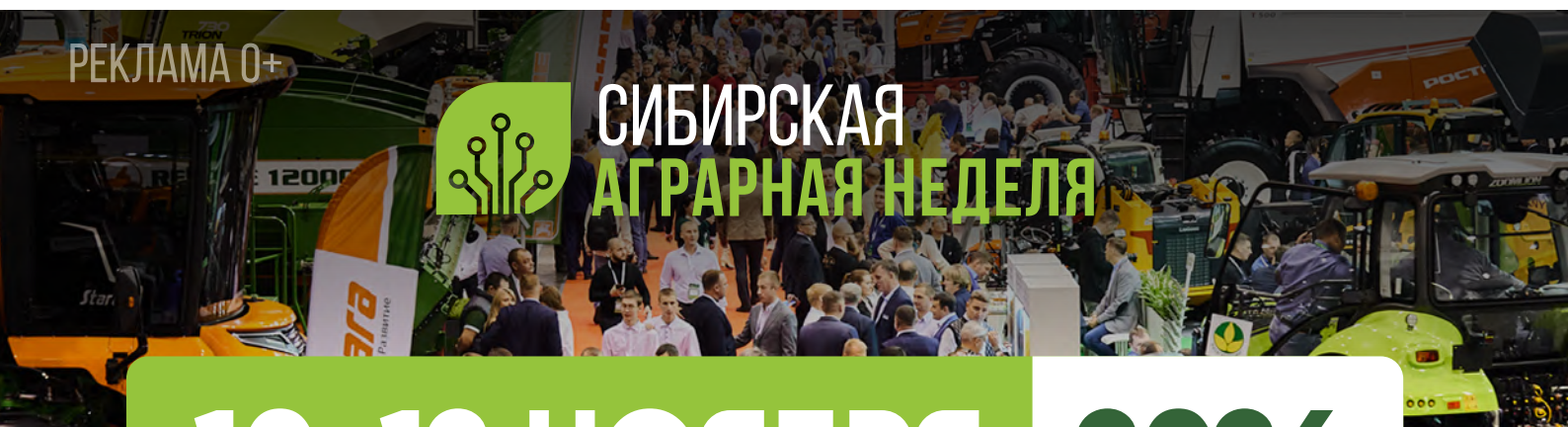
Dmitry Sergeevich Semin

Candidate of Agricultural Sciences,
Chief Researcher
sds-balashov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-5256>

Svetlana Sergeevna Kukoleva

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
lily74-88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0582-9024>

Russian Scientific Research and Technological Design
Institute of sorghum and corn,
4 1st Institute passage, Saratov, 410050, Russia



СИБИРСКАЯ АГРАРНАЯ НЕДЕЛЯ

10-12 НОЯБРЯ 2026

350+

ЭКСПОНЕНТОВ

8 500+

аграриев из СФО, УФО и ДФО

500+

ТЕХНИКИ и агрегатов от мировых брендов

ИННОВАЦИОННЫЕ решения для АПК

ОРГАНИЗАТОР:



СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ: МВК



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

УДК 664.66:612.398

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155

М.Р. Салахов¹

О.В. Зинина¹ ✉

Е.А. Вишнякова¹

М.Б. Ребезов²

¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

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

✉ zininaov@susu.ru

Поступила в редакцию: 06.01.2026

Одобрена после рецензирования: 23.05.2026

Принята к публикации: 06.06.2026

© Салахов М.Р., Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б.

Оптимизация состава белковой добавки и ее применение в технологии высокобелковых хлебцев

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Растительные белки и белковые добавки играют все более важную роль в пищевых технологиях, способствуя созданию функциональных и диетически ценных продуктов. Использование белков из подсолнечника, гороха, тыквы и риса позволяет не только улучшать аминокислотный состав и технологические свойства хлебобулочных изделий, но и повышать их биологическую ценность. Оптимизация рецептур хлебцев с растительными белками способствует созданию продуктов, соответствующих принципам здорового питания и рационального природопользования, одновременно снижая экологические и экономические издержки производства.

Методы. Объектами исследования является белковая композиция, состоящая из подсолнечного, тыквенного, горохового и рисового белков, а также хлебцы, изготовленные с использованием данной белковой композиции. Полученные образцы исследовали согласно ГОСТ 9846-88, с применением ГОСТ 5670-96, ГОСТ 21094-2022, ГОСТ Р 54731-2011.

Результаты. Результаты исследований показали, что введение растительной белковой композиции в рецептуру хлебцев оказывает положительное влияние на технологические свойства теста и органолептические показатели готовых изделий. При этом замена более 30% муки приводит к ухудшению реологических характеристик теста и появлению специфического привкуса. На основе экспериментальных данных определены оптимальные дозировки белковой смеси — 10% и 20%, обеспечивающие соблюдение физико-химических норм и высокие потребительские свойства. Образец с 20% заменой муки является перспективным для промышленного выпуска функциональных продуктов питания, включая диетические и спортивные рационы.

Ключевые слова: хлебцы, растительный белок, гороховый белок, тыквенный белок, рисовый белок, подсолнечный белок

Для цитирования: Салахов М.Р., Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б. Оптимизация состава белковой добавки и ее применение в технологии высокобелковых хлебцев. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 145–155.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155

Maksim R. Salakhov¹

Oksana V. Zinina¹ ✉

Elena A. Vishnyakova¹

Maksim B. Rebezov²

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ zininaov@susu.ru

Received by the editorial office: 06.01.2026

Accepted in revised: 23.05.2026

Accepted for publication: 06.06.2026

© Salakhov M.R., Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B.

Optimization of the composition of protein supplements and their application in high-protein crispbread technology

ABSTRACT

Relevance. Plant proteins and protein supplements are playing an increasingly important role in food technology, contributing to the creation of functional and nutritionally valuable products. Using proteins from sunflower, pea, pumpkin, and rice not only improves the amino acid composition and technological properties of bakery products but also increases their biological value. Optimizing crispbread recipes with plant proteins contributes to the creation of products that comply with the principles of healthy eating and sustainable environmental management, while simultaneously reducing environmental and economic production costs.

Methods. The objects of the study were a protein composition consisting of sunflower, pumpkin, pea, and rice proteins, as well as crispbreads made using this protein composition. The obtained samples were examined according to GOST 9846-88, using GOST 5670-96, GOST 21094-2022, GOST R 54731-2011.

Results. The study showed that the addition of a plant protein composition to crispbread recipes has a positive effect on the technological properties of the dough and the organoleptic properties of the finished product. However, replacing more than 30% of the flour results in a deterioration in the dough's rheological properties and the development of a specific flavor. Based on the experimental data, optimal dosages of the protein mixture were determined — 10% and 20% to ensure compliance with physicochemical standards and high consumer properties. The sample with a 20% flour replacement shows promise for the industrial production of functional foods, including dietary and sports nutrition products.

Key words: crispbread, vegetable protein, pea protein, pumpkin protein, rice protein, sunflower protein

For citation: Salakhov M.R., Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B. Optimization of the composition of a protein additive and its application in high-protein crispbread technology. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 145–155 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155>

Введение/Introduction

С развитием современного общества все больше внимания уделяется качеству питания и его влиянию на здоровье [1–5].

В этом контексте хлебцы занимают особое место среди продуктов питания, благодаря своей популярности и высокой пищевой ценности. На фоне снижения выпуска хлеба недлительного хранения устойчиво растет производство изделий длительного хранения, включая хлебцы и аналогичную продукцию, что отражает смещение потребительского спроса в сторону удобных и функциональных форматов.

Хлебцы являются низкокалорийными изделиями с высоким содержанием пищевых волокон и углеводов. Этот продукт имеет разнообразный ассортимент и подходит для быстрого перекуса. Рост популярности хлебцев неразрывно связан с популяризацией принципов здорового образа жизни. Сегодня индустрия фокусируется на улучшении состава продукта.

Благодаря интеграции передовых технологий и поиску альтернативных сырьевых источников, производителям удается значительно повысить потребительскую привлекательность товара и расширить свое присутствие в нише полезных перекусов [6, 7].

Взгляд современных исследователей также обращен в сторону разработок рецептур хлебцев, обогащенных различными функциональными ингредиентами, среди которых: белково-углеводная мука [8], порошок из семян тыквы [9], яблочный порошок [10], рыбно-минеральная добавка [11], экстракт шиповника [12], йодосодержащий ингредиент [12] и так далее.

Белки являются важнейшим биологическим макронутриентом, выполняющим ключевые структурные, каталитические и регуляторные функции в организме человека. Они входят в состав клеток и тканей, участвуют в процессах роста и восстановления, обеспечивают транспорт веществ, а также играют центральную роль в регуляции обмена веществ и поддержании гомеостаза. В зависимости от происхождения пищевые белки принято подразделять на животные и растительные. Основными источниками животного белка являются мясо, яйца и молочные продукты, тогда как растительные белки содержатся преимущественно в бобовых культурах, зерновых, семенах, орехах и в ряде других продуктов растительного происхождения [13].

В целом животные белки традиционно считаются более предпочтительными источниками белка за счет высокой биологической ценности и благоприятного аминокислотного состава. Однако производство животного белка характеризуется высокой ресурсо- и энергоемкостью. Соотношение затрат энергии на его получение составляет примерно 14:1, что указывает на значительные экономические и экологические издержки данного способа производства. В условиях ограниченности

природных ресурсов и роста потребности населения в полноценном белке особую актуальность приобретают альтернативные источники. Белки, полученные из растительного сырья, рассматриваются как эффективная и более экономически целесообразная альтернатива, способная внести значительный вклад в решение глобальной проблемы дефицита белка [14].

Помимо экономических и экологических преимуществ, растительные белковые продукты обладают выраженным положительным воздействием на здоровье человека. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что включение в рацион растительных продуктов питания способствует снижению риска развития метаболических нарушений и сердечно-сосудистых заболеваний [15]. Кроме того, растительные белки и сопутствующие им биологически активные вещества проявляют потенциальные противораковые, иммуномодулирующие и противовоспалительные свойства [16–19].

Особый интерес представляют данные о влиянии диет, обогащенных клетчаткой, растительным белком и полиненасыщенными жирными кислотами, на физиологическое состояние кормящих матерей.

Установлено, что такие диеты оказывают более благоприятное воздействие по сравнению со стандартными рационами и диетами, содержащими преимущественно животный белок и насыщенные жирные кислоты. В частности, соблюдение растительно-ориентированной диеты в период лактации способствовало более эффективному восстановлению физиологических изменений, вызванных беременностью, включая нормализацию иммунного ответа и показателей липидного обмена. Кроме того, было выявлено влияние данной диеты на состав и функциональную активность микробиоты слепой кишки, в том числе на продукцию короткоцепочечных жирных кислот, что демонстрировало корреляцию с иммунными показателями и параметрами липидного обмена [20].

Введение растительных белков в рецептуру хлебобулочных изделий способствует балансированию аминокислотного состава за счет восполнения лимитирующих аминокислот, характерных для зернового сырья.

Кроме того, растительные белки оказывают положительное влияние на технологические свойства теста, включая повышение его стабильности, улучшение водопоглощающей способности и формирование оптимальной структуры клейковинного каркаса. Это, в свою очередь, способствует увеличению объема готовых изделий, улучшению их пористости и замедлению процессов черствения, что положительно отражается на сроках хранения продукции.

Белки, получаемые из нетрадиционных источников растительного сырья, а также из побочных продуктов и отходов перерабатывающих

производств, могут рассматриваться как полноценные и перспективные источники данного макронутриента. Использование такого сырья соответствует принципам рационального природопользования и безотходных технологий, способствует повышению экономической эффективности пищевых производств.

Подсолнечник — одна из важнейших масличных культур в мире, занимающая третье место по объему производства после сои и рапса, с объемом производства 53,5 млн тонн в 2019 году [21]. После извлечения масла побочный продукт подсолнечного жмыха рассматривается как потенциальное сырье для использования в пищевой промышленности благодаря своему химическому составу, включая высокое содержание белка (30–50% масс. /масс.) [22].

Белок подсолнечника является превосходным источником богатых серой аминокислот, которые, как правило, отсутствуют в большинстве белков растительного происхождения. Хотя в белках подсолнечника отсутствует незаменимая аминокислота лизин, что является недостатком с точки зрения питательной ценности, они, тем не менее, считаются отличным источником белка благодаря низкому содержанию токсичных и антипитательных соединений [23]. Белок подсолнечной муки в основном состоит из глобулинов, которые составляют приблизительно 60–80% от общего содержания белка. Данный белок известен своим хорошо сбалансированным аминокислотным составом, отличной усвояемостью и высокой биологической ценностью. Эти свойства делают его перспективным ингредиентом для пищевой промышленности, а его дальнейшие исследования и высокоэффективное использование принесут значительные социальные и экономические выгоды [24]. Белок из семян подсолнечника содержит низкий уровень антипитательных факторов. Хотя семена подсолнечника в основном используются для производства подсолнечного масла, оставшийся жмых потенциально может содержать белок, пригодный для потребления человеком [25].

Аминокислотный профиль белков семян тыквы, как правило, сбалансирован; они особенно богаты глутаматом, аргинином и аминокислотами с разветвленной цепью, хотя лизин может быть несколько дефицитным по сравнению с идеальным белковым профилем [26]. Данный белок является источником незаменимых аминокислот, таких как лейцин, фенилаланин, гистидин и изолейцин [27]. Основная белковая фракция в семенах тыквы состоит из запасных белков растений, преимущественно 12S-глобулинов. Эти белки, называемые кукурбитинами, имеют структурное сходство с глицинином сои, легумином гороха и круциферином рапса. Помимо кукурбитинов, семена тыквы также содержат 2S-альбумины, вместе эти две фракции составляют приблизительно 59% от общего содержания сырого белка. Также

сообщалось о наличии незначительных количеств 18S-глобулинов, которые, как полагают, представляют собой димерные формы 12S-глобулинов [28].

Тыквенный белок получают из жмыха, образующегося в процессе переработки тыквенных семечек при производстве масла. Данный жмых является ценным побочным продуктом маслоделий промышленности и характеризуется высоким содержанием белка, достигающим 50% от общего состава сырья [29–32]. Благодаря такому количеству белка тыквенный жмых представляет собой перспективный источник растительного белка для использования в пищевых технологиях.

Рис является одной из важнейших зерновых культур в мире и служит основным источником питания для более чем 50% населения планеты. Он играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности, особенно в странах Азии, Африки и Латинской Америки, где данная культура традиционно составляет значительную долю ежедневного рациона.

Пищевая ценность риса во многом определяется его химическим составом, в котором содержание белка занимает важное место, оказывая влияние как на питательные, так и на органолептические характеристики зерна. Белок рисовых зерен является ключевым фактором, определяющим текстуру, вкус и кулинарные свойства готовых продуктов, а также их биологическую ценность [33]. В среднем содержание белка в рисе ниже по сравнению с другими зерновыми культурами, однако он отличается высокой усвояемостью и гипоаллергенными свойствами, что делает рисовый белок перспективным ингредиентом для диетического и функционального питания.

Как правило, белковый комплекс рисового зерна представлен четырьмя основными фракциями: альбумином, глобулином, проламином и глютелином. Среди них глютелин является преобладающей фракцией и составляет основную долю белков риса, определяя его функциональные и технологические свойства [34]. Соотношение различных белковых фракций может варьироваться в зависимости от сорта риса, условий выращивания и степени обработки зерна, что следует учитывать при использовании риса и продуктов его переработки в пищевой промышленности. Белковая фракция риса в последнее время привлекает внимание благодаря сбалансированному аминокислотному составу, высокой усвояемости и гипоаллергенным свойствам, поскольку он естественным образом не содержит лактозы и глютена [35]. По сравнению с белками животного происхождения, рисовый белок оказывает меньшее воздействие на окружающую среду и соответствует растущему спросу на устойчивые и этичные источники пищи [36]. Также данный белок обладает биологической активностью,

включая антиоксидантное, противораковое, гипохолестеринемическое и противовоспалительное действие [37].

Горох является высокобелковой культурой, обладающей значительным потенциалом в качестве источника растительного белка. Он характеризуется целым рядом преимуществ, включая низкое негативное воздействие на окружающую среду при возделывании, эффективную фиксацию атмосферного азота в почве, что снижает потребность в минеральных удобрениях, а также выраженные полезные для здоровья свойства. Белки гороха обладают благоприятным аминокислотным составом и функциональными характеристиками, такими как способность к гелеобразованию, эмульгированию и удержанию воды, что делает горох перспективным сырьем для производства альтернативных белковых продуктов и функционального питания [38].

Кроме того, горох занимает второе место среди бобовых культур по объему мирового производства, уступая лишь сое, что подтверждает его значимость в глобальном сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

Он характеризуется сбалансированным аминокислотным профилем, включающим значительное количество незаменимых аминокислот, что повышает его биологическую ценность и делает пригодным для обогащения продуктов питания. Гороховый белок также отличается низкой аллергенностью по сравнению с белками многих других растений, что расширяет круг потребителей, включая людей с пищевыми аллергиями.

Белки гороха обычно классифицируются по четырем категориям: глобулин, альбумин, проламин и глютен, из которых глобулин является основным запасным белком, составляющим 55–65% от общего количества белка в полевом горохе. Белки гороха в основном состоят из 7S/11S глобулина и 2S альбумина и имеют высокое содержание лизина, что может компенсировать недостаток лизина в рационах на основе злаков [39]. Белки гороха и их гидролизаты обладают рядом полезных для здоровья свойств, таких как антиоксидантное, противодиабетическое и антигипертензивное действие, а также регулирование состава кишечной микрофлоры [40].

Кроме того, белки гороха широко используются в пищевой промышленности, например, для инкапсуляции биоактивных соединений, биоразлагаемых пленок и в качестве альтернативы животным белкам [41].

Кроме того, гороховый белок обладает превосходными функциональными свойствами, которые делают его востребованным ингредиентом в пищевой промышленности. Среди них — высокая растворимость в воде, способность к образованию стабильных эмульсий и пены, а также выраженные гелеобразующие свойства. Эти характеристики позволяют использовать гороховый

белок при производстве разнообразных продуктов, включая растительные заменители мяса, белковые напитки, кондитерские изделия и хлебобулочные продукты, обеспечивая при этом желаемую текстуру, стабильность и органолептические качества [42].

Целью работы является оптимизация состава белковой добавки и изучение ее влияния на показатели качества ржаных дрожжевых хлебцев.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в лабораториях кафедры «Пищевые и биотехнологии» ФГАО ВО «Южно-Уральский государственный университет» (Челябинск, Россия) с октября по декабрь 2025 г.

Объектами исследования являются:

- белковая композиция, составленная на основе следующих белков: гороховый белковый изолят 85% (Yantai Oriental Protein Tech Co. Китай), изолят рисового белка (Yantai Oriental Protein Tech Co. Китай), концентрат тыквенного белка (ООО «Медаль», Россия), концентрат подсолнечного белка (ООО «ЭВОФУД», Россия);

- хлебцы, изготовленные с добавлением белковой композиции.

Для разработки белковой композиции были отобраны белки гороха, подсолнечника, риса и тыквы, что обусловлено их высокими функционально-технологическими характеристиками, сбалансированным аминокислотным составом, а также доказанной пользой для здоровья человека.

Выбор данных источников растительного белка позволяет получить композицию с улучшенной усвояемостью и повышенной пищевой ценностью.

Оптимизацию компонентного состава белковой композиции осуществляли по показателям биологической ценности с применением симплекс-метода линейного программирования.

В рамках математической модели были заданы линейные ограничения на искомые переменные, где X_1 соответствует подсолнечному белку, X_2 — гороховому, X_3 — тыквенному, а X_4 — рисовому белку.

В качестве целевой функции рассматривался аминокислотный скор лизина, выбранный в связи с тем, что именно лизин является одной из наиболее лимитирующих и дефицитных незаменимых аминокислот в растительных белках.

Поиск экстремума данной линейной функции позволил определить оптимальное соотношение компонентов композиции (таблица 1).

Содержание незаменимых и заменимых аминокислот в каждом из выбранных видов белкового сырья было установлено на основании данных, предоставленных производителями соответствующих ингредиентов и использованных в качестве исходных параметров для проведения расчетов.

Таблица 1. Балансовые уравнения оптимизации состава белковой композиции

Table 1. Balance equations for optimization of the protein composition

Показатель	Уравнение
Содержание валина	$6,42 \cdot X_1 + 5,00 \cdot X_2 + 5,78 \cdot X_3 + 5,83 \cdot X_4 \geq 4,00$
Содержание изолейцина	$5,55 \cdot X_1 + 4,71 \cdot X_2 + 4,68 \cdot X_3 + 4,16 \cdot X_4 \geq 3,00$
Содержание лейцина	$8,09 \cdot X_1 + 7,94 \cdot X_2 + 8,87 \cdot X_3 + 8,33 \cdot X_4 \geq 6,10$
Содержание лизина	$4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 4,52 \cdot X_3 + 3,75 \cdot X_4 \geq 4,80$
Содержание метионина и цистеина	$4,60 \cdot X_1 + 2,24 \cdot X_2 + 3,42 \cdot X_3 + 3,75 \cdot X_4 \geq 2,30$
Содержание треонина	$4,51 \cdot X_1 + 3,47 \cdot X_2 + 3,65 \cdot X_3 + 4,16 \cdot X_4 \geq 2,50$
Содержание триптофана	$1,65 \cdot X_1 + 1,06 \cdot X_2 + 2,10 \cdot X_3 + 1,25 \cdot X_4 \geq 0,66$
Содержание фенилаланина и тирозина	$8,93 \cdot X_1 + 8,82 \cdot X_2 + 10,35 \cdot X_3 + 10,31 \cdot X_4 \geq 4,10$
Аминокислотный скор лизина (функция цели)	$100 \times (4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 4,52 \cdot X_3 + 3,75 \cdot X_4) / 4,80 \rightarrow 100$
Формирование единицы продукта	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$

В качестве исходной информации для решения задачи линейного программирования использовали данные об аминокислотном составе применяемых видов растительных белков, предоставленные производителями, а также рекомендованные нормы потребления незаменимых аминокислот в соответствии с требованиями ФАО/ВОЗ¹. Указанные показатели были приняты в качестве базовых ограничений и критериев при формировании математической модели оптимизации.

После получения смеси растительных белков были сформированы контрольный и три опытных образца хлебцев:

1. Контрольный образец (К): Классические ржаные дрожжевые хлебцы.

2. Опытный образец 1 (О-1): Дрожжевые хлебцы с заменой 10 % ржаной муки белковой композицией.

3. Опытный образец 2 (О-2): Дрожжевые хлебцы с заменой 20 % ржаной муки белковой композицией.

4. Опытный образец 3 (О-3): Дрожжевые хлебцы с заменой 30 % ржаной муки белковой композицией.

Все образцы были изготовлены из ржаной обдирной муки с добавлением хлебопекарных дрожжей по технологии, приведенной на рисунке 1.

Полученные образцы исследовали на соответствие нормам, указанным в ГОСТ 9846-88². Влажность образцов определяли по ГОСТ 21094-2022³, а кислотность образцов определяли по ГОСТ 5670-96⁴.

Влияние внесения белковой композиции на деятельность дрожжей оценивали по ГОСТ Р 54731-2011⁵.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате разработана белковая композиция, по своему составу удовлетворяющая требования к аминокислотному составу.

Рис. 1. Технология изготовления обогащенных хлебцев

Fig. 1. Technology for the production of enriched bread



Таблица 2. Состав белковой композиции

Table 2. Composition of protein composition

Показатель	Значение
Состав, %	
подсолнечный	57,6
гороховый	17,9
тыквенный	4,8
рисовый	19,7
Аминокислотный скор незаменимых аминокислот, %	
валина	150,44
изолейцина	169,38
лейцина	133,56
метионина и цистеина	171,81
треонина	168,55
триптофана	225,66
фенилаланина и тирозина	225,61
лизина	100,98
Массовая доля белка, %	65,54

Композиция растительных белков, полученная математическим моделированием, представлена в таблице 2.

¹ FAO Consultation. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper. 2011; 92: 1–66.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26369006>

² ГОСТ 9846-88 Хлебцы хрустящие. Технические условия

³ ГОСТ 21094-2022 Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности

⁴ ГОСТ 5670-96 Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности

⁵ ГОСТ Р 54731-2011 Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия

Расчетным методом также установлено общее содержание белка для каждого объекта исследования.

Результаты исследований приведены в таблице 3.

По данным, представленным в таблице 3, видно, насколько значительно увеличивается содержание белка при замене части муки белковой композицией.

Также согласно ГОСТ Р 55577-2013⁶ образцы с 20% и 30% замены муки могут считаться продуктом с высоким содержанием белка, поскольку более 20% энергетической ценности данного пищевого продукта обеспечивается белком.

Также установлено влияние добавления белковой смеси на деятельность дрожжей. В таблице 4 представлены результаты данного эксперимента.

Как видно по данным, представленным в таблице 4, добавление белковой композиции ускоряет деятельность дрожжей, на что указывает рост подъемной силы. Это явление может быть объяснено следующими аспектами: 1) происходит улучшение питания и метаболической активности дрожжей благодаря наличию в используемых белковых концентратах свободного аминного азота, пептидов и аминокислот, что ускоряет синтез клеточных белков, репликацию и общую метаболическую активность, проявляется в увеличении скорости образования углекислого газа. Кроме того, в белковых концентратах могут присутствовать микроэлементы, кофакторы ферментов дрожжей, что дополнительно стимулирует ферментативные пути гликолиза и дыхательной цепи, косвенно увеличивая газообразование. Также возможно наличие в концентрате остаточной протеолитической активности нативных ферментов, под действием которых происходит постепенное высвобождение аминокислот в процессе расстойки, что поддерживает ферментацию на более поздних стадиях;

2) благодаря способности белков поглощать воду повышается водопоглощение теста. При прочной сбалансированной белковой сетке это приводит к лучшему образованию газовой фазы. Кроме того, белковые молекулы участвуют в формировании вязкоупругой матрицы благодаря взаимодействию с глютенами. На границе газ/тесто белковые молекулы обладают поверхностной активностью и образуют эластичные пленки вокруг пузырьков, что повышает устойчивость пузырьков к коалесценции и газовыделению, аналогично стабилизации пены белками в других пищевых системах.

Полученные результаты согласуются с выводами других исследований, в ходе которых было выяснено, что обогащение продукта белками или овощными порошками приводит к росту активности дрожжей [43, 44].

На рисунке 2 приведен внешний вид образцов теста.

Таблица 3. Расчетное содержание белка в образцах
Table 3. Estimated protein content in samples

Образец	Содержание белка, г на 100 г
Контрольный	8,50
O-1 (10% замены муки)	13,84
O-2 (20% замены муки)	19,22
O-3 (30% замены муки)	24,60

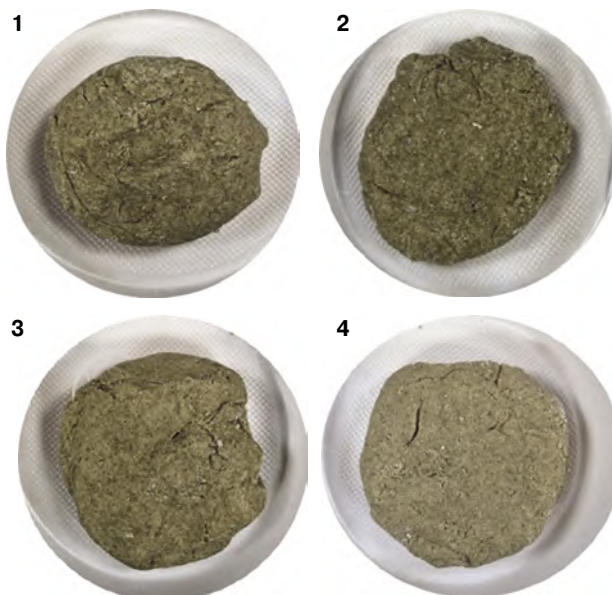
Таблица 4. Исследование влияния внесения белковой композиции на деятельность дрожжей

Table 4. Study of the effect of introducing a protein composition on yeast activity

Образец	Подъемная сила, мин.
Контрольный	49
O-1 (10% замены муки)	46
O-2 (20% замены муки)	41
O-3 (30% замены муки)	38

Рис. 2. Внешний вид образцов полученного теста: 1) контрольный образец; 2) образец с 10 % заменой муки; 3) образец с 20 % заменой муки; 4) образец с 30 % заменой муки

Fig. 2. Appearance of the obtained test samples: 1) control sample; 2) sample with 10% flour replacement; 3) sample with 20% flour replacement; 4) sample with 30% flour replacement



Как видно на рисунке 3, все образцы, кроме последнего, имеют схожий цвет и текстуру, в то время как образец с 30% заменой муки выделяется более светлым цветом. Данный образец хуже всех связывал влагу и обладал высокой адгезией во время раскатывания и нарезания.

На следующем этапе данного исследования была проведена органолептическая оценка полученных образцов. Результаты сравнили с требованиями ГОСТ 9846–88² (таблица 5).

На рисунке 3 представлен внешний вид полученных образцов хлебцев.

Как видно по результатам в таблице 5, образец O-3 отличается по цвету и вкусу от всех остальных образцов. Его отличает более светлый цвет, а также

⁶ ГОСТ Р 55577-2013 Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности

Таблица 5. Результаты органолептической оценки

Table 5. Results of organoleptic evaluation

Наименование показателя	Значения по ГОСТ 9846	Значения показателей			
		К	О-1	О-2	О-3
Поверхность	Верхняя: шероховатая с наколами и рельефом, допускаются незначительная мучнистость, наличие бороздок, небольших вздутий и отдельных вкраплений крошек, а также соли у хлебцев ржаных, посыпанных солью, к пиву; отрубей у хлебцев спортивных, корицы у хлебцев с корицей. Нижняя: шероховатая, мучнистая с вкраплениями крошек и отрубей, с рельефом и следами от сетки печи	Шероховатая с наколами, с небольшими вздутиями			
Цвет	От светло-серого до светло-коричневого с более темной окраской на нижней стороне для ржаных хлебцев и от светло-желтого до светло-коричневого с более темной окраской на нижней стороне для хлебцев из пшеничной муки или из смеси ржаной и пшеничной муки	Коричневый		Светло-коричневый	
Хрупкость	Изделия должны быть хрупкими, слегка ломающимися	Хрупкое, слегка ломающееся изделие			
Вид в изломе	Хорошо разрыхленные, с развитой пористостью, пропеченные и просушенные, без признаков непромеса	Хорошо разрыхленные, с развитой пористостью, пропеченные и просушенные, без признаков непромеса			
Вкус	Свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса		Присутствует выраженный привкус подсолнечника	
Запах	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха			

Рис. 3. Внешний вид готовых образцов (с левой стороны — типичный единичный образец, справа — образцы из одной партии изделия): 1) контрольный образец; 2) образец с 10% заменой муки; 3) образец с 20% заменой муки; 4) образец с 30% заменой муки

Fig. 3. Appearance of finished samples (on the left — a typical single sample, on the right — samples from one batch of the product): 1) control sample; 2) sample with 10% flour replacement; 3) sample with 20% flour replacement; 4) sample with 30% flour replacement



Таблица 6. Физико-химические показатели полученных образцов

Table 6. Physicochemical parameters of the obtained samples

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9846-88	Значения показателей			
		К	О-1	О-2	О-3
Влажность, %	не более 9,0	3,99 ± 0,02	4,49 ± 0,03	4,30 ± 0,02	6,25 ± 0,03
Кислотность, град.	не более 8,0	2,8 ± 0,1	4,0 ± 0,1	5,6 ± 0,2	6,0 ± 0,2

выраженный вкус подсолнечника, который преобладает в добавляемой белковой композиции.

Помимо органолептических свойств были также определены физико-химические свойства полученных образцов. Результаты также сравнили с требованиями ГОСТ 9846-88.

Результаты исследований приведены в таблице 6.

По результатам, представленным в таблице 6, видно, что увеличение внесенной доли белковой

композиции повышает влажность готового продукта и его кислотность. При этом ни один из показателей не превышает нормативы, указанные в ГОСТ 9846.

В представленном исследовании изучена возможность обогащения хлебцев белковой композицией (белки подсолнечника, гороха, тыквы, риса) и проанализировано ее влияние на технологические и органолептические свойства продукта (рис. 4).

Рис. 4. Основные выводы проведенного исследования**Fig. 4.** Main findings of the study**Оптимизация композиции**

- С применением симплекс-метода линейного программирования, где в качестве целевой функции выступал аминокислотный скор лимитирующей аминокислоты (лизина), разработан оптимальный состав белковой смеси (подсолнечный — 57,6%, гороховый — 17,9%, тыквенный — 4,8%, рисовый — 19,7%). Полученная композиция характеризуется сбалансированным аминокислотным составом, что подтверждается значениями аминокислотного скор по всем незаменимым аминокислотам (от 100,98% для лизина до 225,66% для триптофана), соответствующими рекомендациям ФАО/ВОЗ.

Влияние на технологический процесс

- Установлено, что внесение белковой композиции положительно влияет на биотехнологические свойства изученных полуфабрикатов. Замена части муки на белковую смесь интенсифицирует метаболическую активность дрожжей, что выражается в сокращении времени подъемной силы теста (с 49 мин в контроле до 38 мин при дозировке 30%). Данный эффект обусловлен наличием свободных аминокислот и пептидов в составе добавки, служащих дополнительным источником питания для дрожевой микрофлоры.

Определение оптимальных параметров

- Экспериментально подтверждено, что уровень замены муки является критическим фактором, определяющим качество готовых изделий;
- дозировки 10% и 20% обеспечивают получение хлебцев с высокими органолептическими показателями и физико-химическими характеристиками (влажность, кислотность), соответствующими требованиям ГОСТ 9846;
- увеличение дозировки до 30% приводит к ухудшению реологических свойств теста (повышенная липкость, ухудшение влаговязывания), что делает данный образец менее приемлемым для промышленного производства.

Выводы/Conclusions

Наиболее перспективным является образец с 20% заменой муки, который сочетает в себе технологичность производства и статус источника белка, поскольку более 20% энергетической ценности данного продукта обеспечивается белком и согласно ГОСТ Р 55577-2013 может считаться продуктом с высоким содержанием белка.

Научно обоснован и экспериментально подтвержден оптимальный состав растительной белковой композиции и доказана эффективность ее применения в технологии производства высокобелковых хлебцев, что открывает перспективы для расширения ассортимента продуктов функционального и спортивного питания.

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. Варивода А.А., Кенийз Н.В., Ребезов М.Б. Разработка научно обоснованных подходов к проектированию пищевых продуктов направленного действия для геродиетического питания. *Аграрная наука*. 2023; (4): 145–151. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
2. Rebezov M. et al. Role of beetroot as a dietary supplement in food products: Review. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2020; 21(57–58): 8–16. EDN UVQIOH.
3. Асенова Б.К., Амирханов К.Ж., Ребезов М.Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции*. Челябинск: ЮУрГУ. 2013; 313–316. EDN RFYCTH
4. Рустемова А.Ж., Ребезов М.Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий. *Аграрная наука*. 2023; (8): 137–142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
5. Харлап С.Ю., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Беляева Н.В. Современные технологии производства хлеба для здорового питания и его качество. *Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов. Сборник научных трудов к 90-летию ВНИИХ. М.: ВНИИХ; Саратов: Амрит*. 2020; 395–401. EDN UUPWCN
6. Зинина О.В., Павлова Я.С., Ребезов М.Б., Чанов И.М., Николина А.Д., Нурымхан Г.Н. Разработка и исследование крекера, обогащенного пищевыми волокнами. *Аграрная наука*. 2022; (9): 173–179. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>

REFERENCES

1. Varivoda A.A., Keniyz N.V., Rebezov M.B. Development of evidence-based approaches to the design of targeted food products for gerodietary nutrition. *Agrarian science*. 2023; (4): 145–151 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
2. Rebezov M. et al. Role of beetroot as a dietary supplement in food products: Review. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2020; 21(57–58): 8–16. EDN UVQIOH.
3. Asenova B.K., Amirhanov K.Zh., Rebezov M.B. Production technology of functional foods-tuffs for environmentally disadvantaged regions. *Trade and economic problems of regional business space. Collection of materials of the XI International scientific and practical conference*. Chelyabinsk: South Ural State University. 2013; 313–316 (in Russian). EDN RFYCTH
4. Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian science*. 2023; (8): 137–142 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
5. Kharlap S.Yu., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Belyaeva N.V. Modern technologies for the production of bread for healthy nutrition and its quality. *Innovative technologies for processing and storing agricultural raw materials and food products. Collection of scientific papers for the 90th anniversary of the All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry*. Moscow: All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry; Saratov: Amirit. 2020; 395–401 (in Russian). EDN UUPWCN
6. Zinina O.V., Pavlova Ya.S., Rebezov M.B., Chanov I.M., Nikolina A.D., Nurymkhan G.N. Development and examination of a cracker enriched with dietary fiber. *Agrarian science*. 2022; (9): 173–179 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>

7. Купчак Д.В., Чеченина С.В., Лукьянова А.Н., Сназинов М.А. Тенденции и перспективы совершенствования ассортимента хлебцев хрустящих. *Пищевая промышленность*. 2026; (1): 122–125. <https://doi.org/10.52653/PPI.2026.1.1.025>
8. Скрипко О.В. Хрустящие хлебцы с белково-углеводной мукой для здорового питания. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023; (9). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.41>
9. Скворцова О.Б., Гарькина П.К., Пономарева Е.И. Выбор рациональной дозировки порошка из семян тыквы в рецептуре хрустящих хлебцев. *Хлебобродуки*. 2020; (12): 50–51. EDN NZFTLD
10. Пьяникова Э.А., Черемушкина И.В., Ковалева А.Е., Быковская Е.И. Исследование состава сахаров в хлебцах хрустящих, обогащенных абличным порошком. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020; 82(1): 157–163. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-157-163>
11. Ключко Н.Ю., Позднякова Д.А. Исследование по совершенствованию технологии хлебоулучного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой. *Известия КГТУ*. 2022; 66: 103–111. EDN QHWWXAW
12. Серимбетова Ш.А., Ахлан Т.Б., Изембаева А.К. Разработка функциональных хлебцев из растительных компонентов. *Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана*. 2025; (1): 16–19. EDN BSVLHO
13. Wang S., Zhao F., Wu W., Lyu L., Li W. Proteins from Blackberry Seeds: Extraction, Osborne Isolate, Characteristics, Functional Properties, and Bioactivities. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(20): 15371. <https://doi.org/10.3390/ijms242015371>
14. Zhou X., Zhang C., Cao W., Zhou C., Zheng H., Zhao L. A Comparative Functional Analysis of Pea Protein and Grass Carp Protein Mixture via Blending and Co-Precipitation. *Foods*. 2021; 10(12): 3037. <https://doi.org/10.3390/foods10123037>
15. Langyan S., Yadava P., Khan F.N., Dar Z.A., Singh R., Kumar A. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8: 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
16. Moudgil K.D., Venkatesha S.H. The Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Activities of Natural Products to Control Autoimmune Inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(1): 95. <https://doi.org/10.3390/ijms24010095>
17. Kharisma V.D. et al. Mangostenone Bioactive Compound from *Garcinia mangostana* L. as Antiviral Agent via Dual Inhibitors Against E6 HPV 16/18 Oncoprotein through Computational Simulation. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2023; 16(11): 5045–5050. <https://doi.org/10.52711/0974-360x.2023.00817>
18. Kuznetsova E. et al. Determination of antioxidants in herbal supplements by HPLC and X-ray electromagnetic field detector in a scanning electron microscope system. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2023; 13(2): e10248. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.10248>
19. Sunadi et al. Hepatitis E Inhibited by Rosmarinic Acid Extract from Clove Plant (*Syzygium Aromaricum*) through Computational Analysis. *Pharmacognosy Journal*. 2023; 15(4): 518–523. <https://doi.org/10.5530/pj.2023.15.112>
20. Rio-Aige K. et al. A diet rich in fibre and vegetable protein during gestation and lactation shapes maternal immunity, intestinal microbiota and lipid metabolism. *eBioMedicine*. 2025; 117: 105784. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2025.105784>
21. Náthia-Neves G., Alonso E. Optimization of the subcritical water treatment from sunflower by-product for producing protein and sugar extracts. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024; 14(2): 1637–1650. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02380-w>
22. de Oliveira Filho J.G., Egea M.B. Sunflower seed byproduct and its fractions for food application: An attempt to improve the sustainability of the oil process. *Journal of Food Science*. 2021; 86(5): 1497–1510. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15719>
23. Vartiya P. et al. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 22: 102088. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102088>
24. Qin N., Shuang Q., Bao X. Improvement of gel properties and molecular mechanism of modified sunflower meal protein gel by gellan gum. *Food Chemistry: X*. 2025; 30: 102979. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102979>
7. Kupchak D.V., Chechenina S.V., Luk'yanova A.N., Snazinov M.A. Tendencies and perspectives of improvement of crispbread selection. *Food Industry*. 2026; (1): 122–125 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2026.1.1.025>
8. Skripko O.V. Crispy breads with protein-carbohydrate flour for healthy diet. *International Research Journal*. 2023; (9) (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.41>
9. Skvortsova O.B., Gar'kina P.K., Ponomareva Ye.I. Selection of a rational dosage of pumpkin seed powder in the formulation of crispbread. *Khleboprodukty*. 2020; (12): 50–51 (in Russian). EDN NZFTLD
10. Pyanikova E.A., Cheremushkina I.V., Kovaleva A.E., Bykovskaya K.I. The effect of apple powder on the consumption of crispbread. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020; 82(1): 157–163 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-157-163>
11. Klyuchko N.Yu., Pozdnyakova D.A. Study on the technology improvement of bakery products enriched with a fish protein-mineral additive. *KSTU News*. 2022; 66: 103–111 (in Russian). EDN QHWWXAW
12. Serimbetova Sh., Akhlan T., Izembayeva A. Development of functional breads from plant-based components. *Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan*. 2025; (1): 16–19 (in Russian). EDN BSVLHO
13. Wang S., Zhao F., Wu W., Lyu L., Li W. Proteins from Blackberry Seeds: Extraction, Osborne Isolate, Characteristics, Functional Properties, and Bioactivities. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(20): 15371. <https://doi.org/10.3390/ijms242015371>
14. Zhou X., Zhang C., Cao W., Zhou C., Zheng H., Zhao L. A Comparative Functional Analysis of Pea Protein and Grass Carp Protein Mixture via Blending and Co-Precipitation. *Foods*. 2021; 10(12): 3037. <https://doi.org/10.3390/foods10123037>
15. Langyan S., Yadava P., Khan F.N., Dar Z.A., Singh R., Kumar A. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8: 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
16. Moudgil K.D., Venkatesha S.H. The Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Activities of Natural Products to Control Autoimmune Inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(1): 95. <https://doi.org/10.3390/ijms24010095>
17. Kharisma V.D. et al. Mangostenone Bioactive Compound from *Garcinia mangostana* L. as Antiviral Agent via Dual Inhibitors Against E6 HPV 16/18 Oncoprotein through Computational Simulation. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2023; 16(11): 5045–5050. <https://doi.org/10.52711/0974-360x.2023.00817>
18. Kuznetsova E. et al. Determination of antioxidants in herbal supplements by HPLC and X-ray electromagnetic field detector in a scanning electron microscope system. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2023; 13(2): e10248. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.10248>
19. Sunadi et al. Hepatitis E Inhibited by Rosmarinic Acid Extract from Clove Plant (*Syzygium Aromaricum*) through Computational Analysis. *Pharmacognosy Journal*. 2023; 15(4): 518–523. <https://doi.org/10.5530/pj.2023.15.112>
20. Rio-Aige K. et al. A diet rich in fibre and vegetable protein during gestation and lactation shapes maternal immunity, intestinal microbiota and lipid metabolism. *eBioMedicine*. 2025; 117: 105784. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2025.105784>
21. Náthia-Neves G., Alonso E. Optimization of the subcritical water treatment from sunflower by-product for producing protein and sugar extracts. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024; 14(2): 1637–1650. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02380-w>
22. de Oliveira Filho J.G., Egea M.B. Sunflower seed byproduct and its fractions for food application: An attempt to improve the sustainability of the oil process. *Journal of Food Science*. 2021; 86(5): 1497–1510. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15719>
23. Vartiya P. et al. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 22: 102088. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102088>
24. Qin N., Shuang Q., Bao X. Improvement of gel properties and molecular mechanism of modified sunflower meal protein gel by gellan gum. *Food Chemistry: X*. 2025; 30: 102979. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102979>

25. Pöri P., Aisala H., Liu J., Lille M., Sozer N. Structure, texture, and sensory properties of plant-meat hybrids produced by high-moisture extrusion. *LWT*. 2023; 173: 114345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114345>
26. Sá A.G.A., Pacheco M.T.B., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Processing effects on the protein quality and functional properties of cold-pressed pumpkin seed meal. *Food Research International*. 2023; 169: 112876. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112876>
27. Pacheco A.F.C. *et al.* Impact of ultrasound on pumpkin seed protein concentrate hydrolysis: Effects on Alcalase, protein, and assisted reaction. *Applied Food Research*. 2023; 3(1): 100281. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100281>
28. Habib M., Singh S., Hanan E., Jan K., Bashir K. Optimization of enzymatic hydrolysis for obtaining antioxidant hydrolysates from pumpkin seed protein: Improvement of the physicochemical, structural and functional properties. *Applied Food Research*. 2025; 5(2): 101272. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101272>
29. Sarinho A. *et al.* Valorization of pumpkin-seed press-cake and hulls from agri-food waste streams. *Food Chemistry Advances*. 2025; 9: 101147. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101147>
30. Rexhepi F. *et al.* Chemical changes of pumpkin seed oils and the impact on lipid stability during thermal treatment: study by FTIR — Spectroscopy. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022; 11(6): e5839. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5839>
31. Kassymov S. *et al.* Using of pumpkin and carrot powder in production of meat cutlets: Effect on chemical and sensory properties. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(4): 1663–1670. EDN RDTUES
32. Abilmazhinova B. *et al.* Study chemical and vitamin composition of horsemeat cutlets with addition of pumpkin. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(8): 7614–7621. EDN RKIUKF
33. Yang T. *et al.* The impacts of post-anthesis warming on grain yield and quality of double-cropping high-quality *indica* rice in Jiangxi Province, China. *European Journal of Agronomy*. 2022; 139: 126551. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126551>
34. Wang X. *et al.* Nitrogen Fertilizer Regulated Grain Storage Protein Synthesis and Reduced Chalkiness of Rice Under Actual Field Warming. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 715436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.715436>
35. Manzoor A. *et al.* Rice bran: Nutritional, phytochemical, and pharmacological profile and its contribution to human health promotion. *Food Chemistry Advances*. 2023; 2: 100296. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100296>
36. Siripan T., Bunyatratthata A., Thammapat P., Bungthong C., Li H., Siriamornpun S. Enzymatic extraction improves functional and phytochemical attributes of rice protein from green and ripe grains. *Food Chemistry: X*. 2025; 32: 103329. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103329>
37. Meza S.L.R. *et al.* Sustainable rice bran protein: Composition, extraction, quality properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2024; 145: 104355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104355>
38. Baeghbal V., Euston S.R., He X., Donetti M., Maklad O., Acharya P. High moisture extrusion based texturization and functional modulation of pea protein isolate through integration with cultivated beef. *Food Hydrocolloids*. 2026; 172(3): 112154. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112154>
39. Lu Z.X., He J.F., Zhang Y.C., Bing D.J. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(15): 2593–2605. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651248>
40. Ge J., Sun C.-X., Corke H., Gul K., Gan R.-Y., Fang Y. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020; 19(4): 1835–1876. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12573>
41. Wu D.-T., Li W.-X., Wan J.-J., Hu Y.-C., Gan R.-Y., Zou L. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*. 2023; 12(13): 2527. <https://doi.org/10.3390/foods12132527>
42. Zhu J. *et al.* Construction of a predictive model for pea protein solubility evaluation and screening of processing-specific varieties using machine learning after interpretable optimization. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025; 149: 108807. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108807>
25. Pöri P., Aisala H., Liu J., Lille M., Sozer N. Structure, texture, and sensory properties of plant-meat hybrids produced by high-moisture extrusion. *LWT*. 2023; 173: 114345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114345>
26. Sá A.G.A., Pacheco M.T.B., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Processing effects on the protein quality and functional properties of cold-pressed pumpkin seed meal. *Food Research International*. 2023; 169: 112876. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112876>
27. Pacheco A.F.C. *et al.* Impact of ultrasound on pumpkin seed protein concentrate hydrolysis: Effects on Alcalase, protein, and assisted reaction. *Applied Food Research*. 2023; 3(1): 100281. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100281>
28. Habib M., Singh S., Hanan E., Jan K., Bashir K. Optimization of enzymatic hydrolysis for obtaining antioxidant hydrolysates from pumpkin seed protein: Improvement of the physicochemical, structural and functional properties. *Applied Food Research*. 2025; 5(2): 101272. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101272>
29. Sarinho A. *et al.* Valorization of pumpkin-seed press-cake and hulls from agri-food waste streams. *Food Chemistry Advances*. 2025; 9: 101147. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101147>
30. Rexhepi F. *et al.* Chemical changes of pumpkin seed oils and the impact on lipid stability during thermal treatment: study by FTIR — Spectroscopy. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022; 11(6): e5839. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5839>
31. Kassymov S. *et al.* Using of pumpkin and carrot powder in production of meat cutlets: Effect on chemical and sensory properties. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(4): 1663–1670. EDN RDTUES
32. Abilmazhinova B. *et al.* Study chemical and vitamin composition of horsemeat cutlets with addition of pumpkin. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(8): 7614–7621. EDN RKIUKF
33. Yang T. *et al.* The impacts of post-anthesis warming on grain yield and quality of double-cropping high-quality *indica* rice in Jiangxi Province, China. *European Journal of Agronomy*. 2022; 139: 126551. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126551>
34. Wang X. *et al.* Nitrogen Fertilizer Regulated Grain Storage Protein Synthesis and Reduced Chalkiness of Rice Under Actual Field Warming. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 715436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.715436>
35. Manzoor A. *et al.* Rice bran: Nutritional, phytochemical, and pharmacological profile and its contribution to human health promotion. *Food Chemistry Advances*. 2023; 2: 100296. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100296>
36. Siripan T., Bunyatratthata A., Thammapat P., Bungthong C., Li H., Siriamornpun S. Enzymatic extraction improves functional and phytochemical attributes of rice protein from green and ripe grains. *Food Chemistry: X*. 2025; 32: 103329. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103329>
37. Meza S.L.R. *et al.* Sustainable rice bran protein: Composition, extraction, quality properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2024; 145: 104355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104355>
38. Baeghbal V., Euston S.R., He X., Donetti M., Maklad O., Acharya P. High moisture extrusion based texturization and functional modulation of pea protein isolate through integration with cultivated beef. *Food Hydrocolloids*. 2026; 172(3): 112154. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112154>
39. Lu Z.X., He J.F., Zhang Y.C., Bing D.J. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(15): 2593–2605. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651248>
40. Ge J., Sun C.-X., Corke H., Gul K., Gan R.-Y., Fang Y. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020; 19(4): 1835–1876. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12573>
41. Wu D.-T., Li W.-X., Wan J.-J., Hu Y.-C., Gan R.-Y., Zou L. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*. 2023; 12(13): 2527. <https://doi.org/10.3390/foods12132527>
42. Zhu J. *et al.* Construction of a predictive model for pea protein solubility evaluation and screening of processing-specific varieties using machine learning after interpretable optimization. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025; 149: 108807. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108807>

43. Акопян Г.С., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Биологическая активация хлебопекарных дрожжей и возможность обогащения продукции хлебопечения пептидами. *Health, Food & Biotechnology*. 2022; 4(3): 49–58.
<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s146>

44. Корнен Н.Н., Калманович С.А., Лукьяненко М.В., Вершинина О.Л., Федосеева О.В., Викторова Е.П. Исследование эффективности влияния овощных пищевых добавок на процесс активации хлебопекарных прессованных дрожжей. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019; (4): 43–45.
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.11>

ОБ АВТОРАХ

Максим Радикович Салахов¹
 магистр биотехнологии
 salahov.makson@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-9321-9508>

Оксана Владимировна Зинина¹
 доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий
 zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Елена Александровна Вишнякова¹
 аспирант кафедры пищевых и биотехнологий
 l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Максим Борисович Ребезов²
 доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник
 rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Южно-Уральский государственный университет, пр-т им. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

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

43. Akopyan G.S., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Biological Activation of Baker's Yeast and the Possibility of Enrichment of Bakery Products with Peptides. *Health, Food & Biotechnology*. 2022; 4(3): 49–58 (in Russian).
<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s146>

44. Kornen N.N., Kalmanovich S.A., Lukyanenko M.V., Vershinina O.L., Fedoseeva O.V., Viktorova E.P. Study of the effectiveness of the effect of vegetable food additives on the process of activation of bakery pressed yeast. *News of universities. Food Technology*. 2019; (4): 43–45 (in Russian).
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.11>

ABOUT THE AUTHORS

Maksim Radikovich Salakhov¹
 Master of Biotechnology
 salahov.makson@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-9321-9508>

Oksana Vladimirovna Zinina¹
 Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Biotechnology
 zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Elena Aleksandrovna Vishnyakova¹
 postgraduate student of the Department of Food and Biotechnology
 l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Maksim Borisovich Rebezov²
 Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher²
 rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

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

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

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



Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (K1, K2), в список Russian Science Citation Index (RSCI), в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в ядро РИНЦ, «Белый список» ВАК РФ, в список периодических изданий Международной базы данных AGRIS (ГНУ ЦНСХБ Россельхозакадемии).

Ознакомиться с информацией о перечне специальностей ВАК и итоговом распределении журналов по категориям можно здесь:



Приравнивание научных журналов, входящих в наукометрические базы данных, к журналам Перечня ВАК с распределением по категориям:



Согласно приведенным данным, журнал «Аграрная наука» относится к категории К1.

Подобную информацию о журнале можно получить у научного редактора М.Н. Долгой
 +7 (495) 777 67 67 (доб. 1453)
 dolgaya@vicgroup.ru

Реклама

Я.М. Ребезов¹ ✉М.Б. Ребезов²У.Ю. Медведева¹¹Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Новгород, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ yaroslavreb@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.12.2025

Одобрена после рецензирования: 23.05.2026

Принята к публикации: 06.06.2026

© Ребезов Я.М., Ребезов М.Б.,
Медведева У.Ю.Yaroslav M. Rebezov¹ ✉Maksim B. Rebezov²Ulyana Y. Medvedeva¹¹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia²Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ yaroslavreb@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.12.2025

Accepted in revised: 23.05.2026

Accepted for publication: 06.06.2026

© Rebezov Ya.M., Rebezov M.B.,
Medvedeva U.Y.

Лактоферрин в пищевых системах: функциональные свойства, технологии производства и нормативное регулирование

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Лактоферрин — это природный катионный железосвязывающий гликопротеин, естественным образом присутствующий в организме животных и человека, особенно в молозиве и молоке человека и коровы. Его multifunctional свойства, включая антимикробную, иммуномодулирующую и антиоксидантную активность, обуславливают значительный интерес к его применению в качестве пищевого ингредиента, биологически активной добавки и компонента функциональных продуктов питания.

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

Результаты. Применение лактоферрина является потенциально перспективным направлением для пищевой промышленности из-за усиления им иммуномодулирующего и антиоксидантного действия, а также увеличения сроков годности продуктов. Сегодня лактоферрин наиболее активно используется как биологически активная добавка для детских смесей, специализированных молочных продуктов на основе молока и сыроворотки, продуктов переработки мяса, а также пищевых добавок. На мировом рынке лактоферрина есть определенные трудности: разработка новых, более эффективных способов очистки и производства лактоферрина, также открыт вопрос о правовом характере применения лактоферрина (в том числе рекомбинантного).

Ключевые слова: лактоферрин, продукты питания, биологически активная добавка, йогурт, производство лактоферрина, трансгенез

Для цитирования: Ребезов Я.М., Ребезов М.Б., Медведева У.Ю. Лактоферрин в пищевых системах: функциональные свойства, технологии производства и нормативное регулирование. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 156–172.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-156-172>

Lactoferrin in Food Systems: Functional Properties, Manufacturing Technologies, and Regulatory Aspects

ABSTRACT

Relevance. Lactoferrin is a natural cationic iron-binding glycoprotein naturally present in animals and humans, particularly in human and bovine colostrum and milk. Its multifunctional properties, including antimicrobial, immunomodulatory, and antioxidant activity, have generated significant interest in its use as a food ingredient, dietary supplement, and component of functional foods.

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

Results. The use of lactoferrin is a potentially promising area for the food industry due to its enhanced immunomodulatory and antioxidant effects, as well as its extended shelf life. Today, lactoferrin is most actively used as a dietary supplement for infant formulas, specialized milk- and whey-based dairy products, processed meat products, and dietary supplements. The global lactoferrin market faces certain challenges: the development of new, more efficient methods for purifying and producing lactoferrin, as well as the open question of the legal nature of the use of lactoferrin (including recombinant).

Keywords: lactoferrin, food, dietary supplement, yogurt, lactoferrin production, transgenesis

For citation: Rebezov Ya.M., Rebezov M.B., Medvedeva U.Y. Lactoferrin in Food Systems: Functional Properties, Manufacturing Technologies, and Regulatory Aspects. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 156–172 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-156-172>

Введение/Introduction

Сегодня невозможно представить производство продуктов питания без применения инновационных, обладающих высокой эффективностью, полноценных с точки зрения биологии, экологически безопасных и функциональных пищевых изделий [1]. С развитием технологий и увеличением пласта научных знаний общество будет стремиться максимизировать выгоду потребляемых продуктов питания. Для этого активно применяются различные биологически активные пищевые добавки, в том числе лактоферрин.

Лактоферрин — это природный катионный железосвязывающий гликопротеин из группы трансферринов [2–4].

Открытие лактоферрина датируется 1960 годом, когда он был впервые выделен, впоследствии он был выделен из женского грудного молока и коровьего молока с помощью методичного применения осаждения сульфатом аммония и хроматографии. В дальнейшем это позволило разработать методики его получения из молока других млекопитающих [3, 5–8].

Наиболее важной физико-химической особенностью лактоферрина является его очень высокое сродство к железу. Молекула лактоферрина способна обратимо связывать два иона Fe^{3+} [2, 7]. Лактоферрин имеет розовый цвет, что объясняется тем, что он связывает молекулы железа, присутствие железа также обуславливает пик поглощения при длине волны 465 нм [4, 9].

Молекулярная масса лактоферрина составляет от 78 до 80 кДа, и он состоит из одной полипептидной цепи, которая может быть разделена на две гомологичные части, общая длина цепи составляет от 680 до 700 аминокислот, в зависимости от вида животного или человека [1, 2, 7, 8]. Лактоферрин человека и крупного рогатого скота содержит 691 и 696 аминокислот соответственно [10]. Лактоферрин состоит из двух глобулярных долей, каждая из которых способна связывать один ион железа (Fe^{3+}). Эти доли соединены трехвитковой α -спиралью, которая, в свою очередь, делится на два субдомена: N1 и N2; C1 и C2 [4, 11, 12].

На данный момент лактоферрин обнаружен у многих млекопитающих, и большая его часть в организме приходится на молоко. [5, 6]. Молозиво человека и животных содержит более высокие концентрации лактоферрина, чем цельное молоко. Сообщается, что концентрация лактоферрина в молозиве может достигать 7 мг/мл. Концентрация лактоферрина в цельном молоке животных обычно меньше, чем в грудном молоке человека (2–3 г/л) [5, 13–15].

Помимо молока, выявлено содержание лактоферрина в составе различных биологических жидкостей, таких как слезы, слюна, вагинальный и семенной секрет, бронхиальный и назальный

секреты, желчь, жидкости желудочно-кишечного тракта и моча. Существенная концентрация лактоферрина обнаружена в плазме крови, вторичных нейтрофильных гранулоцитах и околоплодных водах. [2, 3, 7].

Участие лактоферрина в различных физиологических процессах обусловлено выраженной способностью к комплексообразованию, что определяет широкий спектр биологических свойств, это позволяет относить его к многофункциональным белкам [6, 16]. Будучи важным компонентом врожденного иммунитета, лактоферрин обладает широким спектром биологической активности: антибактериальной [17–21], противовирусной [22–26] и противогрибковой [27–31] — все эти полезные свойства подтверждены многочисленными исследованиями. Антимикробные свойства лактоферрина являются его наиболее широко изученной функцией. Антимикробная активность лактоферрина обусловлена секвестрацией железа в очагах инфекции, что лишает микроорганизмы этого питательного вещества и вызывает бактериостатический эффект при прямом взаимодействии молекулы лактоферрина с инфекционным микроорганизмом [32–36]. Перспективным представляется раскрытие потенциала лактоферрина в качестве полезной пищевой добавки.

Развитие общества неизбежно влияет на повышение осознанности граждан в отношении здоровья, что делает возможным рост рынка лактоферрина, поскольку потребители уделяют первостепенное внимание профилактическим мерам и ищут натуральные способы укрепления иммунитета и общего благополучия организма. Лактоферрин, известный своими антиоксидантными и антимикробными свойствами, стал популярным компонентом биологически активных добавок и функциональных продуктов питания, направленных на укрепление здоровья¹ [4].

Изучение потенциала лактоферрина — это область активных исследований, имеющая значение как для общественного здравоохранения, так и для пищевой и фармацевтической промышленности.

Целью работы являлось изучение мировой практики применения лактоферрина в пищевой промышленности.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Поиск литературы проводили без ограничений по дате публикации, типу источника и языку исследования. Были отобраны материалы, содержащие систематизированные данные, опубликованные на русском и английском языках с 1997 г. по декабрь 2025 г.

Поиск потенциально релевантных материалов осуществлялся, по ключевым словам в

¹ Global Lactoferrin Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2032 (URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-lactoferrin-market>)

электронных базах данных Scopus², eLibrary³, PubMed⁴, Google Scholar⁵, Science Direct⁶, доступным нормативно-правовым актам стран и источникам в открытом доступе сети Internet. Также были изучены библиографические списки отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных источников информации.

Данные были проанализированы, чтобы оценить и систематизировать сведения о возможностях применения лактоферрина в пищевой промышленности.

Настоящая работа представляет собой систематический обзор литературы, выполненный в соответствии с принципами PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) для описательного синтеза данных.

При анализе рыночных данных авторы сознательно воздержались от использования информации, предоставленной непосредственно коммерческими компаниями, и опирались исключительно на независимые аналитические обзоры (Market Growth Reports, Grand View Research, FactMR, IMARC, Future Market Insights, GIRA Food).

Авторы декларируют отсутствие каких-либо финансовых или личных связей с компаниями-производителями или дистрибьюторами лактоферрина. Все коммерческие данные, упомянутые в обзоре, приведены на основе общедоступных независимых отраслевых отчетов и не преследуют цели рекламы или продвижения продукции конкретных фирм. Работа выполнена в рамках государственного задания, исключающего коммерческую ангажированность.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Лактоферрин в пищевой промышленности

Свойства лактоферрина, которые могут принести пользу при использовании его в пищевой промышленности, включают в себя противовирусные, противовоспалительные, антимикробные, антиоксидантные, противораковые и пробиотические эффекты [37–39]. Связывая железо, лактоферрин подавляет рост болезнетворных бактерий, напрямую повреждая клеточные стенки, и вызывает гибель клеток, тем самым предотвращая бактериальные инфекции или заболевания и способствуя сохранению пищи [37]. Наиболее часто встречающейся формой применения лактоферрина в пищевой промышленности является использование его в качестве биологически активной добавки.

Результаты исследования [40] подтвердили значительное улучшение функции поджелудочной железы и некоторые гистологические изменения в поджелудочной железе. Добавление лактоферрина (100 мг/кг массы тела) в сочетании с

Lactobacillus acidophilus в качестве пробиотика было особенно эффективно для улучшения здоровья поджелудочной железы [3].

Результаты исследований показали, что использование антимикробных препаратов на основе лактоферрина и его производных с высоким гидростатическим давлением усиливало бактерицидный эффект. Под действием давления происходит разрушение мембран бактерий, что приводит к повышению чувствительности к антимикробным препаратам. Данный метод обеспечивает повышенную безопасность пищевых продуктов без изменения показателей качества [41, 42].

Сообщается о полезном эффекте добавления в рацион взрослого человека лактоферрина в дозе 200 мг/сут. против инфекционного гастроэнтерита [43] и для улучшения метаболизма железа [44].

Лактоферрин хорошо сочетается с пребиотиками и пробиотиками, которые могут привести к разработке новых продуктов для улучшения баланса микробиома кишечника [45, 46].

Доказано, что биологически активная добавка на основе гидроксиметилбутирата, карнозина, бутирата магния и лактоферрина имеет хорошие перспективы для борьбы с саркопенией [47].

Биологически активная добавка, состоящая из гидролизата лактоферрина, сывороточного белка и ванилина продемонстрировали антибактериальную активность в отношении *E. coli* и *S. aureus in vitro*. Эта добавка потенциально может быть использована в пищевой матрице для снижения побочных эффектов химиотерапии и в качестве химиопротектора [48].

В исследовании гидролизаты бычьего лактоферрина (далее по тексту — БЛФ), полученные с помощью пепсина, химозина и микробного сычужного фермента, были исследованы на предмет действия против *Cronobacter sakazakii* (104 КОЕ/мл) в различных средах: фосфатном буферном растворе, коровьем молоке и молочной сыворотке, а также восстановленной сухой детской смеси. Полученные результаты показали, что гидролиз БЛФ усиливает его антибактериальную активность против *Cronobacter sakazakii* [49].

БЛФ и в настоящее время используют во многих пищевых продуктах, таких как детское питание, ферментированные молочные продукты и жевательные резинки [50]. Например, биологически активная добавка на основе БЛФ и витамина С, инкапсулированного в липидный пузырь и обладающего полезными свойствами, была зарегистрирована в Европейском Союзе [51].

Еще одним возможным направлением применения лактоферрина как пищевой добавки является то, что белки и пептиды молока проявляют химиотерапевтические и антиканцерогенные

² URL: <https://www.elsevier.com/products/scopus>

³ URL: <https://elibrary.ru>

⁴ URL: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

⁵ URL: <https://scholar.google.com>

⁶ URL: <https://www.sciencedirect.com>

свойства. В литературе представлен ряд исследований, посвященных применению лактоферрина в терапии различных типов рака [52–55]. Поэтому актуально применение лактоферрина в качестве средства для замедления развития опухолей и в качестве профилактического средства [7].

Молочные продукты

Наиболее широко лактоферрин используется в качестве пищевой добавки в молочных продуктах, особенно в йогурте, где он усиливает микробную активность, сенсорные качества, питательную ценность и пользу для здоровья костей [3, 56–58].

Йогурт, обогащенный лактоферрином, продемонстрировал положительные эффекты при лечении различных заболеваний, включая острый гастроэнтерит, железодефицитную анемию и микроцитарную гипохромную анемию [40, 59–61].

Эксперименты Fetouh M. и соавторов по оценке антимикробного действия жирных кислот лактоферрина проводились на *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis* и *Candida albicans*. Полученные результаты показали, что в образцах йогурта с включением лактоферрина наблюдалось значительное снижение количества бактерий по сравнению с контрольными образцами. Как правило, образцы йогурта с включением 1,5% лактоферрина демонстрировали наибольший процент снижения количества бактерий, чем образцы с включением 0,5% и 1,0% лактоферрина. Кроме того, *Bacillus cereus* проявил большую восприимчивость к лактоферрину, чем *Enterococcus faecalis*; максимальное снижение количества инокулированных *Bacillus cereus* наблюдалось на шестой день инкубации и составило 99,99% [62].

Результаты испытаний [63] показали, что добавленный в йогурт лактоферрин проявил значительную антимикробную активность, особенно в отношении *E. coli* и *S. typhimurium*. Однако *P. aeruginosa* и *B. cereus* оказались довольно устойчивыми к воздействию лактоферрина, требуя более высоких концентраций для МИК (2,5 мг/мл). Лактоферрин в концентрации 0,0001 и 0,001 мг/мл значительно снизил выживаемость шигатоксин-продуцирующей *E. coli* (STEC) на 70 и 91,6% соответственно в йогурте на третий день. Более того, лактоферрин улучшил сенсорные свойства обогащенного йогурта. Не было выявлено никаких помех активности закваски на протяжении всего процесса производства и периода хранения.

Было установлено, что уровень гемоглобина и несколько параметров эритроцитов значительно улучшились у детей, употреблявших йогурт, обогащенный лактоферрином [60].

Показано, что добавление лактоферрина в семена чиа с трансглутаминазой является перспективным носителем, способствующим доставке гидрофобных молекул в кишечник и усвоению их в пище [64].

В исследовании [59] получены натуральные йогурты, обогащенные лактоферрином, с использованием йогуртовой закваски YC-X11 на

основе *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*. Анализируемые параметры статистически достоверно не различались между контрольными йогуртами и йогуртами с добавлением лактоферрина. Текстурно-реологические исследования также показали, что добавление лактоферрина не привело к существенному изменению структуры йогурта. Йогурты характеризовались высокими санитарно-гигиеническими показателями в течение всего срока холодильного хранения. Лактоферрин оказывает положительное влияние на срок годности продукта.

Целью работы [65] было изучение влияния добавления в молоко БЛФ с различной степенью насыщения железом на производство и характеристики йогурта. БЛФ добавляли в концентрациях 0,5, 1 и 2 мг/мл в холо-формах (насыщенных железом) и апо- (без железа) формах. Физико-химические свойства, такие как pH, концентрацию молочной кислоты и текстуру дополненных йогуртов, определяли на протяжении всего срока годности хранения (28 дней) при 4 °C. Добавление БЛФ в молоко не оказало значительного влияния на физические свойства йогурта, хотя апо-лактоферрин немного задержал снижение pH. Это можно объяснить частичным ингибированием, наблюдаемым при росте *Streptococcus thermophilus*. Целостность и иммунореактивная концентрация лактоферрина оставались постоянными на протяжении всего срока годности йогурта.

Проведено исследование по добавлению лактоферрина при производстве сыра чеддер. Результаты показали, что добавление лактоферрина не повлияло на жирнокислотный состав сыра и сенсорные характеристики сыра. Применение лактоферрина оказалось безопасным при включении его в состав сыра [50].

Мясные продукты

В мясной промышленности лактоферрин используется для подавления жизнедеятельности микроорганизмов. Обработка мясного сырья заключается в распылении препарата на основе лактоферрина на тушу или охлажденные отрубы, что позволяет не только предотвратить рост микроорганизмов, но и нейтрализовать активность эндотоксинов [66]. Использование лактоферрина в составе мясных продуктов может изменить качество мясных продуктов не только за счет увеличения сроков хранения, но и за счет повышения их полезных свойств [67].

Изучена бактерицидная активность лактоферрина и его производных в сочетании с высоким гидростатическим давлением в отношении шести штаммов трех видов грамположительных бактерий *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* и *Enterococcus faecalis* в куриной грудке. Лактоферрин и его производные успешно проявили антибактериальные свойства. Однако на эти свойства могут влиять различные факторы, такие как температура, активность воды, pH, состав среды,

наличие солей, различных белковых, липидных или углеводных компонентов [41].

Эффект обработки высоким гидростатическим давлением в сочетании с лактопероксидазной системой или активированным лактоферрином на *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* и *Escherichia coli* O157:H7 был исследован на вяленом карпаччо из говядины, хранящемся при 8 °C или 22 °C в течение 7 дней. Гидростатическое давление (450 МПа в течение 5 мин) снижало уровни патогенов, а антимикробный эффект сохранялся в течение 7 дней хранения в условиях ненадлежащего температурного режима при 8 °C и при 22 °C. Отдельное применение лактопероксидазной системы и лактоферрина не влияло на выживаемость трех изученных патогенов во время хранения. Однако было обнаружено синергическое бактерицидное взаимодействие между *Salmonella enterica* и *Escherichia coli* O157:H7. Комбинированная обработка может быть полезна для снижения интенсивности обработки давлением, что уменьшит изменения в качестве мясных продуктов [68].

Подобные исследования были проведены в нарезанной сыровяленой ветчине в течение 60 дней при 8 °C [69], в нарезанной вареной ветчине в течение 35 дней (4 °C и 10 °C) [70, 71]. Уровни *Listeria monocytogenes* и *Salmonella enterica* снизились под действием гидростатического давления, лактопероксидазная система и активированный лактоферрин в отдельности не повлияли. Однако была обнаружена синергическая антимикробная активность.

Исследования также изучали использование лактоферрина в колбасных изделиях, где он комбинировался с карбоксиметилцеллюлозой для оценки его влияния на свойства пищевых продуктов [72–74].

Так, три группы куриных грудок с равным количеством лактоферрина были обработаны методом погружения в раствор в концентрациях 5, 10 и 20 мг/г массы курицы соответственно. Органолептическая оценка, включая цвет, запах, вкус, текстуру, сочность и общую приемлемость образцов из этих трех групп и контрольной группы, проводилась каждые два дня во время хранения в холодильнике. Кроме того, в группах проверялось общее количество аэробных бактерий, психротрофных бактерий, общее количество колиформных бактерий, а также количество дрожжей и плесени. Была выявлена значительная разница в оценках этих сенсорных характеристик в зависимости от времени охлаждения и различных концентраций лактоферрина, однако существенной разницы в оценках вкуса не наблюдалось. Кроме того, группа, получавшая лактоферрин в концентрации 20 мг/г, демонстрировала лучшие сенсорные показатели и микробиологические показатели, чем другие группы, на протяжении всего времени

хранения в холодильнике до 13-го дня. Контрольная и опытная группы, получавшие лактоферрин в концентрации 5 и 10 мг/г, превысили допустимые нормы на 7-й, 9-й и 11-й день. Соответственно, группа, получавшая лактоферрин в концентрации 20 мг/г, сохраняла допустимые нормы еще шесть дней после истечения срока годности охлажденной куриной грудки. Следовательно, лактоферрин выполняет функцию натурального консерванта, позволяя получить морфологически и микробиологически безопасную и стабильную охлажденную куриную грудку с длительным сроком хранения [74].

Исследование [73] было проведено для оценки влияния съедобного покрытия карбоксиметилцеллюлозы, обогащенного лактоферрином (в концентрации 5%, 10% и 20%), на сенсорные и микробиологические качества домашней колбасы. Лактоферрин добавляли непосредственно на мясной фарш; кроме того, исследуемая съедобная пленка использовалась в качестве внешнего покрытия на образцах колбасы с начинкой. Результаты показали значительное улучшение общей приемлемости обработанных образцов с удлинением срока годности до 12, 15 и 18 дней хранения в обработанных образцах с лактоферрином в концентрации 5%, 10% и 20% соответственно; тогда как контрольные необработанные образцы показали явные признаки порчи после 6 дней хранения. В то же время было зафиксировано снижение количества микробиологических микроорганизмов, что свидетельствует о перспективности использования лактоферрина как функциональной мясной добавки в качестве съедобного покрытия для улучшения качества и срока годности колбасных изделий. Более того, антимикробное действие лактоферрина зависело от дозы и времени, при этом более высокие концентрации оказывали более выраженный антимикробный эффект.

Можно сделать вывод, что использование в технологии съедобного покрытия (пищевое защитное покрытие) лактоферрина позволит получить более безопасные мясные продукты с более длительным сроком хранения.

Детское питание

Лактоферрин также изучается как возможный компонент детского питания из-за его значительного присутствия в грудном молоке и молозиве [3, 14]. Дети, находящиеся на искусственном вскармливании, оказываются беззащитными перед инфекциями, поскольку в питательных смесях отсутствуют бактерицидные факторы. Использование донорского женского молока, как источника лактоферрина, во многих странах ограничено или запрещено, как например в России, в связи с возможностью вирусной контаминации (СПИД, гепатит)⁷. По этой же причине необходимо искать замену женскому молоку для тех детей,

⁷ СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.

матери которых страдают инфекционной патологией, способной передаваться с молоком [1]. Эти причины привели к исследованиям, изучающим добавление лактоферрина в детские смеси и его применение в соответствующей отрасли.

Существуют исследования, показывающие положительное влияние на организм детей при употреблении обогащенных лактоферрином детских смесей. Эти обогащенные смеси изучались на предмет их потенциальной эффективности в решении различных проблем со здоровьем, таких как диарея, респираторные инфекции, острые желудочно-кишечные симптомы и анемия у детей с низкой массой тела при рождении [75–78].

Прием лактоферрина в составе смеси детского питания может снизить распространенность острых желудочно-кишечных симптомов и сократить общее количество дней с острыми респираторными симптомами у детей в возрасте от 12 до 32 месяцев [79].

Chen K. *et al.* сообщили, что относительно низкая доза лактоферрина (35,8 мг/сут) подавляла респираторные заболевания и диарею у младенцев в возрасте 4–6 месяцев [80].

Ishikado A. *et al.* сообщают [81], что повышение продукции ИФН- α активирующего фактора NK-клеток не наблюдалось через 3 недели после окончания приема лактоферрина. Следовательно, прием лактоферрина может усилить и поддерживать цитотоксичность естественных NK-клеток в течение нескольких недель после периода вмешательства и способствовать подавлению острых респираторных симптомов в течение 2 недель после вмешательства.

Другое

Лактоферрин также используется в виноделии в качестве консерванта. Лактоферрин подавлял дрожжи *Dekkera bruxellensis*, основную причину порчи вина, что способствовало увеличению срока годности [82].

Лактоферрин может быть включен в матрицу пищевой упаковки/пленки как в свободной, так и в инкапсулированной форме для улучшения микробиологических, механических и термических свойств биополимерных пленок. Кроме того, пленки, содержащие лактоферрин, сохраняют качество свежих продуктов и продлевают срок их хранения [56, 83, 84].

Результаты показывают, что пептиды, полученные из БЛФ, могут быть потенциальными пищевыми ингредиентами с антигипертензивными и антикоагулянтными свойствами. [3, 85].

Растет спрос на растительные молочные продукты благодаря потенциальной пользе для здоровья и питательным предпочтениям. Несмотря на питательную ценность, их пищевой профиль может быть улучшен при обогащении

лактоферрином. Добавление лактоферрина позволит создать растительные альтернативы молочным продуктам для повышения их питательной ценности и привлечения большего числа потребителей, включая людей, заботящихся о своем здоровье, а также веганов [3, 86, 87].

Промышленное производство лактоферрина

В настоящее время источники лактоферрина разнообразны и включают в себя не только источники человеческого и коровьего происхождения, но и верблюдов, овец, свиней, буйволов, кобыл и некоторых других млекопитающих [37].

В промышленном производстве широкое распространение получил лактоферрин, выделенный из молозива и молока коров. Количество биологически активных добавок с лактоферрином крупного рогатого скота, выпускаемых в мире, превысило сотню наименований. Некоторые из них разрешены к использованию в России и вошли в Реестр продукции, прошедшей государственную регистрацию [1, 4, 88].

Производство лактоферрина из коровьего молока является дорогостоящим из-за большого объема молока или его продуктов, необходимых для хроматографических и ультрафильтрационных методов [88]. Производство лактоферрина требует значительного объема молока — эквивалентного надою почти 50 коров в неделю — для получения всего 1 кг очищенного лактоферрина. Это приводит к формированию рынка, характеризующегося высокими ценами [9]. В настоящее время более 57% продуктов на основе лактоферрина производится методом распылительной сушки благодаря относительно невысокой себестоимости и масштабируемости производства⁸.

Для очистки лактоферрина до уровня пищевой добавки молоко или другие молочные продукты необходимо подвергнуть экстракции. Извлеченный лактоферрин элюируют раствором NaCl, обессоливают и сгущают методом ультрафильтрации. Полученный продукт пастеризуют и сушат до состояния порошка [88].

Высокие производственные затраты представляют собой серьезную проблему на рынке лактоферрина, поскольку процесс извлечения и очистки из природных источников, таких как коровье или грудное молоко, требует использования специализированного оборудования и передовых технологий, а второе еще и является дефицитным продуктом. Использование ультрафильтрации, хроматографии и других методов для выделения и очистки лактоферрина требует значительных инвестиций в инфраструктуру и квалифицированной рабочей силы^{1, 8}.

Для удовлетворения растущего спроса на лактоферрин отрасль нуждается в оптимизации производственной базы. Инновационные

⁸ Lactoferrin Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Type (Freeze Drying, Spray Drying), By Application (Infant Formula, Dietary Supplement, Pharmaceutical, Others), Regional Insights and Forecast to 2033. URL: <https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/lactoferrin-market-111573>

направления включают в себя микробную ферментацию, создание трансгенных растений и животных-биореакторов [4, 89].

Способы получения рекомбинантного лактоферрина

Разработка стратегий производства рекомбинантного лактоферрина (далее по тексту — рЛФ) как безопасного и эффективного лекарственного препарата и является одной из задач в исследованиях и в промышленности. Очистка лактоферрина зависит от внутренних свойств и особенностей молекулы, таких как ее суммарный положительный заряд, способность связывать Fe^{3+} и состояние гликозилирования [90, 91]. Потребность в больших количествах лактоферрина привела к разработке стратегий получения рекомбинантной формы белка (рЛФ).

В мировой биотехнологии в настоящее время существует три основных конкурирующих подхода к производству рЛФ: производство в молоке трансгенных животных, производство в микроскопических грибах и производство в растениях.

К настоящему времени разработано несколько систем экспрессии рЛФ, использующих как прокариотические, так и эукариотические организмы. Первые системы экспрессии использовали клетки почек хомяка для экспрессии лактоферрина человека [7, 33, 92]. Трансформация нитчатых грибов *Aspergillus awamory* позволила экспрессировать лактоферрин человека и мыши [33, 93]. Системы экспрессии были разработаны в дрожжах, бактериях, в насекомых и растениях, которые произвели рЛФ [94–101], бЛФ [102, 103], лактоферрин козы [104], лошади [105], свиньи [106], а также пептиды лактоферрина [103, 107, 108]. Лактоферрин также экспрессировался в высших эукариотических организмах, включая растения и животных. Используя микроинъекции и прямое инфицирование вирусными векторами в молочную железу, были созданы трансгенные животные, которые производят молоко, содержащее рЛФ. К таким животным относятся козы [109, 110], коровы [111, 112], мыши [107, 113] и кролики [114].

С развитием синтетической биологии микробная ферментация стала устойчивой альтернативой для производства лактоферрина. Этот метод обещает снижение воздействия на окружающую среду, сокращение сроков производства и снижение затрат. Такие инновации, как гибридизация сигнальных пептидов, улучшенный везикулярный транспорт белков посредством

экспрессии протеинкиназы и оптимизированные методы ферментации, значительно увеличили выход лактоферрина [9]. Лактоферрин, производимый методом ферментации, а также культивируемые клетки находятся в разработке у нескольких крупных компаний⁹.

Рынок лактоферрина

Первой компанией, начавшей крупное производство бЛФ в 1985 г, стала бельгийская Oleofina Comrapu. С 1986 г. в Японии, Корее, Индонезии бЛФ начали вводить в продукты детского питания. В Германии его стали выделять в 1989 г. из снятого молока и из молочной сыворотки. К 2008 г. промышленное выделение бЛФ было налажено в Нидерландах, Новой Зеландии, Австралии, Франции [7, 115, 116].

Сегодня рынок лактоферрина стремительно растет благодаря его все более широкому использованию в детском питании, добавках для повышения иммунитета и фармацевтических составах. В 2024 г. мировое потребление лактоферрина превысило 1380 т^{8,9}.

В 2024 г. на долю детского питания пришлось 621 т потребления лактоферрина. В Китае 38,7 млн младенцев употребляли смеси, обогащенные лактоферрином, причем 92,4% смесей премиум-класса содержали этот ингредиент. В Японии и Южной Корее более 72% рекомендуемых больницами смесей для новорожденных содержали лактоферрин. Объем производства биологически активных добавок с лактоферрином составил 422 т. Более 68% потребления в этом сегменте пришлось на спортсменов, пожилых людей и людей с ослабленным иммунитетом^{8,9}.

Глобальная сеть производства характеризуется высокой степенью монополизации: менее 25 крупных производственных предприятий обеспечивают более 82% мирового спроса^{8,9}. Разные экспертные агентства оценивают объем рынка на начало 2025 г. в 293–345,6 млн долларов США^{1, 8–12}. Прогнозируется, что объем мирового рынка лактоферрина к 2033 г. достигнет 535,26 млн долларов США при среднегодовом темпе роста 3,8%⁸ [4].

Рынок бЛФ оценивается в 1035,7 млн долларов США в 2025 г. и, по прогнозам, достигнет 4491,0 млн долларов США к 2035 г., что соответствует среднегодовому темпу роста (CAGR) 15,8% за прогнозируемый период^{8,9,13}.

На рисунке 1 представлен охват произведенным лактоферрином различных отраслей производства^{8,11}.

⁹ Latest developments in the global Lactoferrin market and the global Lactoperoxidase market, including supply outlook and innovative applications (URL: <https://www.girafood.com/gallery/the-lactoferrin-lactoperoxidase-global-markets-study/>)

¹⁰ Lactoferrin Market. URL: <https://www.factmr.com/report/lactoferrin-market>

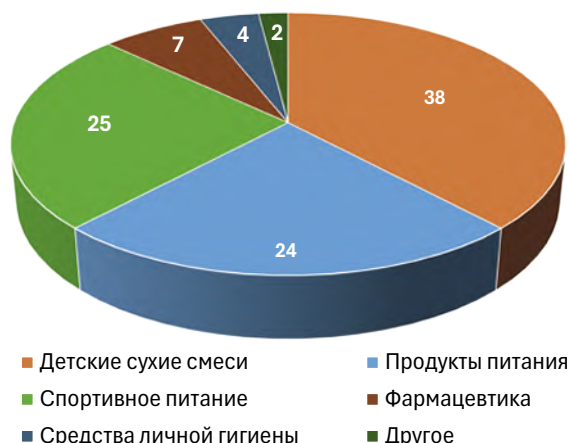
¹¹ Lactoferrin Market (2025 - 2030). URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lactoferrin-market>

¹² Lactoferrin Market Report by Function (Iron Absorption, Anti-Inflammatory, Intestinal Flora Protection, Antibacterial, Immune Cell Stimulation, Antioxidant, and Others), Application (Food and Beverages, Infant Formula, Sports and Functional Foods, Pharmaceuticals, Personal Care Products, and Others), and Region 2025-2033. URL: <https://www.imarcgroup.com/lactoferrin-market>

¹³ Bovine Lactoferrin Market Size and Share Forecast Outlook 2025 to 2035. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/bovine-lactoferrin-market>

Рис 1. Области применения лактоферрина, % от общего объема производства

Fig 1. Areas of application of lactoferrin, % of total production volume



Среди ведущих компаний, производящих лактоферрин можно выделить Metagenics (США), Synlait Ltd (Новая Зеландия), INGREDIA (Франция), Tatura Milk Industries Pty. Ltd. (Австралия), Glanbia PLC (Ирландия), ProHealth, Inc. (США), Fonterra Co-operative Group Limited (Новая Зеландия), Farbest Brands (США), MILEI GmbH (Германия), Tatura Co-operative Dairy Company Limited (Новая Зеландия), Bega Bionutrients (Австралия), Parchem Fine & Specialty Chemicals (США), Saputo Inc. (Канада), Westland Milk Products (Новая Зеландия), Jarrow Formulas (США)^{1, 8, 9, 12}. Большая часть лактоферрина, производимого компаниями, является БЛФ [4].

Продукты питания на основе лактоферрина — это детское питание, диетические добавки, функциональные продукты питания, включая капсулы, саше, жевательные таблетки и порошки. За последний год в сегменте детских смесей китайские производители запустили более 34 новых наименований, обогащенных 90–100 мг лактоферрина на порцию, направленных на поддержку иммунитета на ранних этапах развития. Южнокорейские бренды последовали за ними со смесями, содержащими как лактоферрин, так и пребиотические смеси, направленные на здоровье кишечника у младенцев⁸.

В области пищевых добавок лидером инноваций стали США, выпустившие более 68 новых продуктов. Европа добавила 44 новых продукта, при этом Франция и Германия сосредоточились на формулах двойного действия, сочетающих лактоферрин с цинком, витамином С или молозивом. Эти продукты были предназначены для укрепления иммунитета^{8, 11}.

Функциональные продукты питания стали центральным направлением в Северной Америке и Азиатско-Тихоокеанском регионе. В США более 23 брендов выпустили молочные напитки, йогурты

и батончики мюсли, обогащенные лактоферрином. В Японии в магазинах шаговой доступности появилось более 14 новых снеков с высоким содержанием лактоферрина, предназначенных для ежедневного поддержания иммунитета. Разработка новых продуктов продолжает для всех сфер применения ориентироваться на высокую доступность, улучшенную маскировку вкуса и увеличенный срок хранения⁸.

Безопасность

Безопасность пищевых продуктов при добавлении дополнительных компонентов может привести к различным необратимым последствиям. Безопасность учитывается в различных аспектах, включая такие методы, как сублимационная сушка для повышения безопасности пищевых продуктов путем сохранения биологически активных соединений [117]. Кроме того, когда речь идет о рЛФ, использование генно-модифицированных молочных продуктов, получаемых от животных со встроенной человеческой ДНК, неизбежно вызывают вопросы безопасности конечных препаратов, что в настоящее время существенно осложняет коммерческое продвижение [7].

Для того чтобы лактоферрин был интегрирован в пищевой сектор в качестве ингредиента, он должен обладать нетоксичными и безвредными для здоровья человека характеристиками, что является предпосылкой для его широкого использования [9].

При производстве лактоферрина, помимо его содержания, оцениваются и другие критерии качества. Наиболее важными из них являются низкий уровень микробиологического загрязнения, минимальное содержание веществ, оставшихся после технологических процессов, и ограниченное содержание тяжелых металлов: общее содержание тяжелых металлов (кадмия, свинца, мышьяка, ртути, меди) не превышает 1 мг/кг. Микробиологические показатели: стандартное количество микроорганизмов на чашках Петри < 1000 КОЕ/г; энтеробактерии < 10 КОЕ/г; дрожжи < 10 КОЕ/г; коагулазоположительные стафилококки: не обнаружены в 1 г¹⁴ [8].

Для снижения потенциальных рисков в рамках токсикологических исследований должны проводиться испытания на генотоксичность, токсичность для животных, хроническую токсичность, острую токсичность и аллергенность. В статье, опубликованной в 2012 году EFSA (Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов), сообщается, что максимальная доза БЛФ, испытанная в исследованиях субхронической токсичности, составляла 2000 мг/кг массы тела в сутки, при этом уровне токсичность не наблюдалась¹⁵. В США доза применения лактоферрина для консервирования мяса составляет не более 65 мг/кг [67].

В настоящее время не существует однозначной максимальной безопасной дозы пищевого

¹⁴ URL: <https://www.fda.gov/media/124472/download>

¹⁵ URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2701> <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2701>

лактоферрина, особенно для длительного применения у детей и пожилых людей. Поэтому необходимо расширить доказательства долгосрочной безопасности лактоферрина и заполнить имеющиеся пробелы в рамках расширенных исследований [86, 118]. Кроме того, необходимы дальнейшие исследования для соблюдения нормативных требований к использованию лактоферрина в обогащенных продуктах питания в разных странах, особенно в регионах со строгими правилами безопасности пищевых продуктов [3, 86].

Проблемы нормативного регулирования

Лактоферрин классифицируется по-разному в разных системах глобального регулирования, что отражает различия в законодательстве, регулирующем пищевые ингредиенты и продукты питания.

В таблице 1 представлена классификация лактоферрина в некоторых странах мира:

БЛФ имеет установленный нормативный статус в США и ЕС, признанный профиль безопасности, основанный на обширных токсикологических исследованиях и широкое признание на рынке, а рЛФ проходит активную оценку безопасности. В юрисдикциях Азиатско-Тихоокеанского региона действуют различные нормативно-правовые базы для новых пищевых ингредиентов и функциональных компонентов. Несмотря на то, что на основных рынках существуют соответствующие механизмы регулирования, в изучаемой литературе отсутствуют конкретные документально подтвержденные разрешения, регистрационные номера или даты для лактоферрина в большинстве стран [4, 8, 118–121].

Глобальная стандартизация качества БЛФ развивается в рамках сертификации «Общепризнанный безопасным» (GRAS) и «Новый пищевой продукт». Эти требования относительно строгие, включая более 95% чистоты лактоферрина по содержанию белка⁸ [88, 122].

Проблемы международного и внутреннего нормативного регулирования представляют собой

серьезное препятствие на рынке лактоферрина, особенно когда продукт предназначен для использования в пищевых продуктах, диетических добавках или детских смесях, поскольку в разных странах действуют разные стандарты безопасности, качества и маркировки. Например, в Европейском союзе лактоферрин должен соответствовать строгим требованиям оценки безопасности и маркировки, чтобы быть представленным на рынке в качестве пищевой добавки или ингредиента детской смеси, в то время как нормативные требования в США могут различаться в отношении допустимых концентраций и допустимых заявлений на упаковке^{1, 8}.

Поиск информации в этих разнообразных нормативных условиях может быть трудоемким и дорогостоящим для производителей, поскольку может включать в себя обширные испытания, сертификацию и корректировку рецептур или маркировки продукта. Эта сложность может ограничивать возможности производителей по выходу на международные рынки, увеличивать расходы на соблюдение требований и приводить к задержкам в выводе продукции на рынок. Сложность соблюдения этих различных норм может препятствовать росту рынка, особенно для небольших компаний, не имеющих ресурсов для одновременного управления несколькими нормативными процессами¹.

Выводы/Conclusions

Применение лактоферрина в пищевой промышленности следует рассматривать как перспективное направление, позволяющее обогащать пищевые продукты железосвязывающим компонентом, усиливать их иммуномодулирующее и антиоксидантное действие, а также увеличивать сроки годности.

Благодаря антимикробной и противовоспалительной активности лактоферрин играет важную роль в защите организма от инфекционных и воспалительных процессов. Кроме того, в научной

Таблица 1. Нормативно-правовой статус лактоферрина в разных странах мира

Table 1. The regulatory status of lactoferrin in different countries around the world

Страна, объединение	Классификация	Статус	Регулирующий документ
Россия	биологически активное вещество	Разрешен частично (как БАД к пище, за исключением препаратов из тканей и жидкостей человека)	СанПиН 2.3.2.1078-01 ⁷
США	DSHEA (диетическая добавка), GRAS (пищевой ингредиент)	Разрешён частично, БЛФ разрешён	Сертификат GRAS FDA ¹⁶ , [118]
Европейский союз	Новый пищевой ингредиент	Разрешён частично, БЛФ разрешён	Заключение EFSA EFSA-Q-2010-01269 [8]
Китай	Новый пищевой материал	Разрешён частично, БЛФ разрешён	Стандарты GB 2760, GB 14880, GB 10765 ^{17, 18} [119]
Япония	Функциональный пищевой ингредиент	Разрешен частично	FOSHU и FFC ¹⁹ [120]
Австралия и Новая Зеландия	Пищевой ингредиент	Разрешен частично	Стандарты FSANZ и TGA ²⁰ [121]

¹⁶ URL: <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras>

¹⁷ URL: <https://fsc.foodmate.net/>

¹⁸ URL: <https://www.cnhfa.org.cn/index/xhdt/show.html?id=9271>

¹⁹ URL: <https://www.jafaa.or.jp/13English>

²⁰ URL: <https://www.foodstandards.gov.au/food-standards-code/applications/A1253-Bovine-lactoferrin-in-infant-formula-products>

литературе имеются данные о потенциальной противораковой и антиканцерогенной активности этого белка.

Анализ современных опубликованных исследований показывает, что лактоферрин наиболее активно используется в производстве молочных продуктов и имеет особое значение для детского питания. В то же время его применение в мясной промышленности в основном ограничивается изучением бактерицидных свойств при обработке мясных полуфабрикатов; системные исследования функциональных мясных продуктов с лактоферрином остаются фрагментарными.

Лактоферрин обладает потенциалом для использования в качестве обогащающей добавки в таких продуктах, как детские смеси, йогурты, специализированные молочные напитки на основе молока и сыворотки, мясные изделия и биологически активные добавки к пище.

Мировой рынок лактоферрина демонстрирует устойчивую тенденцию к росту. Однако высокая стоимость конечного продукта обусловлена значительными объемами сырья, необходимыми для его получения, при относительно низком выходе. Перспективными путями решения этой проблемы являются разработка инновационных методов очистки и использование технологий трансгенеза (животные-биореакторы, микроскопические грибы, растения).

Расширение пищевого профиля лактоферрина для более широких групп населения возможно при условии совершенствования и гармонизации методов регуляции безопасности пищевых продуктов в разных странах, особенно в регионах со строгими нормативными требованиями.

Несмотря на доказанное влияние лактоферрина на микроорганизмы, течение заболеваний, кишечную микробиоту и иммунный ответ, максимальная безопасная дозировка остается недостаточно изученной. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования для установления более точных нормативных значений безопасного потребления, особенно при длительном приеме лактоферрина.

Настоящий обзор выявил следующие пробелы в литературе:

- ✓ недостаток долгосрочных клинических исследований безопасности лактоферрина у уязвимых групп населения (дети раннего возраста, пожилые люди, беременные);
- ✓ отсутствие унифицированных международных стандартов на рекомбинантный лактоферрин;
- ✓ ограниченное количество научных работ по применению лактоферрина в немолочных пищевых матрицах (напитки, кондитерские изделия, хлебобулочные изделия).

Настоящий обзор логически продолжает ранее опубликованную работу авторов (Ребезов Я.М., Ребезов М.Б., Медведева У.Ю.) в журнале «Аграрная наука» [123], посвященную применению лактоферрина в животноводстве. Первый обзор [123] был сфокусирован на иммуномодулирующей и противомикробной активности лактоферрина в ветеринарии, а также на трансгенных животных-продуцентах. Настоящая работа рассматривает его функциональные свойства, технологии производства и нормативные аспекты использования в пищевых системах. В совокупности оба обзора формируют целостное представление о роли лактоферрина в агропромышленном комплексе.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Научный обзор подготовлен в рамках выполнения исследований по государственному заданию Научно-исследовательских работ № FGUS-2024-0002 Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук.

FUNDING:

This scientific review was prepared as part of the research carried out under the state assignment for scientific research work No. FGUS-2024-0002 of the V. M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мамонтова Т.В., Шринивас П.П. Лактоферрин — будущее пищевой промышленности. *Материалы IV Ежегодных международных научно-практических чтений Ставропольского института кооперации (филиала) БУКЭП: Сборник IV международных конференций профессорско-преподавательского состава и аспирантов Ставропольского института кооперации (филиала) БУКЭП*. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательско-информационный центр «Фабула». 2018; 194–196. EDN VKIHSC
2. Ashraf M.F. et al. Nutraceutical and Health-Promoting Potential of Lactoferrin, an Iron-Binding Protein in Human and Animal: Current Knowledge. *Biological trace element research*. 2024; 202(1): 56–72. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03658-4>
3. Demir R., Sarıtaş S., Bechelany M., Karav S. Lactoferrin: Properties and Potential Uses in the Food Industry. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26(4): 1404. <https://doi.org/10.3390/ijms26041404>

REFERENCES

1. Mamontova T.V., Srinivas P.P. Lactoferrin — the future of the food industry. *Proceedings of the IV Annual International Scientific and Practical Readings of the Stavropol Institute of Cooperation (branch) of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law: Collection of IV International Conferences of Faculty and Postgraduate Students of the Stavropol Institute of Cooperation (branch) of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law*. Stavropol: Limited Liability Company «Publishing and Information Center «Fabula». 2018; 194–196. EDN VKIHSC
2. Ashraf M.F. et al. Nutraceutical and Health-Promoting Potential of Lactoferrin, an Iron-Binding Protein in Human and Animal: Current Knowledge. *Biological trace element research*. 2024; 202(1): 56–72. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03658-4>
3. Demir R., Sarıtaş S., Bechelany M., Karav S. Lactoferrin: Properties and Potential Uses in the Food Industry. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26(4): 1404. <https://doi.org/10.3390/ijms26041404>

4. Konadaka S.R. *et al.* Biopharming of Lactoferrin: Current Strategies and Future Prospects. *Pharmaceutics*. 2025; 17(8): 1023. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17081023>
5. Жилыкова Е.Т. и др. Свойства и перспектива применения белка молочной сыворотки лактоферрина в медицине и ветеринарии (обзор). *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2022; 11(1): 32–39. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-32-39>
6. Садовская Т.Н. Лактоферрин, его свойства, получение и применение в зоотехнии и ветеринарии. *Фундаментальная и прикладная наука: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей IV Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023; 66–70. EDN SSQLXX
7. Трубицина Т.П. и др. Проблемы и перспективы использования рекомбинантного лактоферрина человека и его производных. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2018; 4: 5–26. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.3.5-26>
8. Agostoni C.V. *et al.* EFSA Publication. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA); Scientific Opinion on bovine lactoferrin: EFSA-Q-2010-01269. Parma, Italy: European Food Safety Authority, 2012. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2701>
9. Hu C., Shen W., Xia Y., Yang H., Chen X. Lactoferrin: Current situation and future prospects. *Food Bioscience*. 2024; (62): 105183. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105183>
10. Wang B., Timilsena Y.P., Blanch E., Adhikari B. Lactoferrin: Structure, function, denaturation and digestion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019; 59(4): 580–596.
11. Baker E.N., Baker H.M. A structural framework for understanding the multifunctional character of lactoferrin. *Biochimie*. 2009; 91(1): 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2008.05.006>
12. González-Chávez S.A., Arévalo-Gallegos S., Rascón-Cruz Q. Lactoferrin: Structure, Function and Applications. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2008; 33: 301.e1–301.e8. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2008.07.020>
13. Зорина В.Н. Структура и ингибирующая активность лактоферрина по отношению к вирусу гриппа. *Инфекция и иммунитет*. 2020; 1: 49–54. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-POL-1156>
14. Lönnerdal B. Nutritional and physiologic significance of human milk proteins. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 77(6): 1537S–1543S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.6.1537S>
15. Siqueiros-Cendón T., Arévalo-Gallegos S., Iglesias-Figueroa B.F., García-Montoya I.A., Salazar-Martínez J., Rascón-Cruz Q. Immunomodulatory effects of lactoferrin. *Acta Pharmacologica Sinica*. 2014; 35(5): 557–566. <https://doi.org/10.1038/aps.2013.200>
16. Goldman I.L., Deikin A.V., Sadchikova E.R. Human Lactoferrin Can Be Alternative to Antibiotics. *Proceedings of the World medical conference*. Malta: WSEAS Press, 2010; 27–38. <https://www.elibrary.ru/fiaxce>
17. Jahani S., Shakiba A., Jahani L. The Antimicrobial effect of lactoferrin on Gram-negative and Gram-positive bacteria. *International Journal of Infection*. 2015; 2(3): e27954. <https://doi.org/10.17795/iji27594>
18. Ongena R., Dierick M., Vanrompay D., Cox E., Devriendt B. Lactoferrin impairs pathogen virulence through its proteolytic activity. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1428156. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1428156>
19. Kutila T., Pyörälä S., Saloniemi H., Kaartinen L. Antibacterial effect of bovine lactoferrin against udder pathogens. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2003; 44(1): 1–8. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-44-35>
20. Титов Е.И., Тихомирова Н.А., Ионова И.И. Выделение и изучение железосвязывающей способности лактоферрина коровьего молока. *Вопросы питания*. 2019; 88(1): 91–96. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10011>
21. Kim J.W., Lee J.S., Choi Y.J., Kim C. The Multifaceted Functions of Lactoferrin in Antimicrobial Defense and Inflammation. *Biomolecules*. 2025; 15(8): 1174. <https://doi.org/10.3390/biom15081174>
22. Garda-Montoya I.A. *et al.* Lactoferrin a multiple bioactive protein. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2011; 1820(3): 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.06.018>
23. Dierick M., Van der Weken H., Rybarczyk J., Vanrompay D., Devriendt B., Cox E. Porcine and bovine forms of lactoferrin inhibit growth of porcine enterotoxigenic *Escherichia coli* and degrade its virulence factors. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020; 86: 1–15. <https://doi.org/10.1128/AEM.00524-20>
4. Konadaka S.R. *et al.* Biopharming of Lactoferrin: Current Strategies and Future Prospects. *Pharmaceutics*. 2025; 17(8): 1023. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17081023>
5. Zhilyakova E.T. *et al.* Properties and Prospects of Application of the Whey Protein Lactoferrin in Medicine and Veterinary Medicine (Review). *Drug development & registration*. 2022; 11(1): 32–39 (in Russian). <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-32-39>
6. Sadovskaya, T.N. Lactoferrin, its properties, production, and application in animal husbandry and veterinary medicine. *Fundamental and applied science: topical issues of theory and practice: A collection of articles from the IV International Scientific and Practical Conference*. Penza: Science and Education (Gulyaev G.Yu.), 2023; 66–70 (in Russian). EDN SSQLXX
7. Trubitsina T.P. *et al.* Problems and Prospects of Using Recombinant Human Lactoferrin and Its Derivatives. *Problems of Biology of Productive Animals*. 2018; 4: 5–26. (in Russian). <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.3.5-26>
8. Agostoni C.V. *et al.* EFSA Publication. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA); Scientific Opinion on bovine lactoferrin: EFSA-Q-2010-01269. Parma, Italy: European Food Safety Authority, 2012. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2701>
9. Hu C., Shen W., Xia Y., Yang H., Chen X. Lactoferrin: Current situation and future prospects. *Food Bioscience*. 2024; (62): 105183. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105183>
10. Wang B., Timilsena Y.P., Blanch E., Adhikari B. Lactoferrin: Structure, function, denaturation and digestion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019; 59(4): 580–596.
11. Baker E.N., Baker H.M. A structural framework for understanding the multifunctional character of lactoferrin. *Biochimie*. 2009; 91(1): 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2008.05.006>
12. González-Chávez S.A., Arévalo-Gallegos S., Rascón-Cruz Q. Lactoferrin: Structure, Function and Applications. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2008; 33: 301.e1–301.e8. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2008.07.020>
1. Zorina V.N. Structure and Inhibitory Activity of Lactoferrin Against the Influenza Virus. *Infection and Immunity*. 2020; 1: 49–54 (in Russian). <https://doi.org/10.15789/2220-7619-POL-1156>
14. Lönnerdal B. Nutritional and physiologic significance of human milk proteins. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 77(6): 1537S–1543S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.6.1537S>
15. Siqueiros-Cendón T., Arévalo-Gallegos S., Iglesias-Figueroa B.F., García-Montoya I.A., Salazar-Martínez J., Rascón-Cruz Q. Immunomodulatory effects of lactoferrin. *Acta Pharmacologica Sinica*. 2014; 35(5): 557–566. <https://doi.org/10.1038/aps.2013.200>
16. Goldman I.L., Deikin A.V., Sadchikova E.R. Human Lactoferrin Can Be Alternative to Antibiotics. *Proceedings of the World medical conference*. Malta: WSEAS Press, 2010; 27–38. <https://www.elibrary.ru/fiaxce>
17. Jahani S., Shakiba A., Jahani L. The Antimicrobial effect of lactoferrin on Gram-negative and Gram-positive bacteria. *International Journal of Infection*. 2015; 2(3): e27954. <https://doi.org/10.17795/iji27594>
18. Ongena R., Dierick M., Vanrompay D., Cox E., Devriendt B. Lactoferrin impairs pathogen virulence through its proteolytic activity. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1428156. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1428156>
19. Kutila T., Pyörälä S., Saloniemi H., Kaartinen L. Antibacterial effect of bovine lactoferrin against udder pathogens. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2003; 44(1): 1–8. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-44-35>
20. Titov E.I., Tikhomirova N.A., Ionova I.I. Isolation and study of the iron-binding capacity of cow's milk lactoferrin. *Nutrition Issues*. 2019; 88(1): 91–96 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10011>
21. Kim J.W., Lee J.S., Choi Y.J., Kim C. The Multifaceted Functions of Lactoferrin in Antimicrobial Defense and Inflammation. *Biomolecules*. 2025; 15(8): 1174. <https://doi.org/10.3390/biom15081174>
22. Garda-Montoya I.A. *et al.* Lactoferrin a multiple bioactive protein. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2011; 1820(3): 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.06.018>
23. Dierick M., Van der Weken H., Rybarczyk J., Vanrompay D., Devriendt B., Cox E. Porcine and bovine forms of lactoferrin inhibit growth of porcine enterotoxigenic *Escherichia coli* and degrade its virulence factors. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020; 86: 1–15. <https://doi.org/10.1128/AEM.00524-20>

24. Luna-Castro S., Aguilar-Romero F., Samaniego-Barrón L., Godínez-Vargas D., De La Garza M. Effect of bovine apo-lactoferrin on the growth and virulence of *Actinobacillus pleuropneumoniae*. *Bio Metals*. 2014; 27: 891–903. <https://doi.org/10.1007/s10534-014-9752-5>
25. Xu G. *et al.* Lactoferrin-derived peptides and lactoferricin chimera inhibit virulence factor production and biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Applied Microbiology*. 2010; 109: 1311–1318. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04751.x>
26. Berlutti F. *et al.* Both lactoferrin and iron influence aggregation and biofilm formation in *Streptococcus mutans*. *Biometals*. 2004; 17: 271–278. <https://doi.org/10.1023/B:BIOM.0000027704.53859.d3>
27. Самохина Л.С. и др. Бифидогенные свойства пептидов лактоферрина из коровьего молока. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2016; 2: 49–53. EDN VRXWBP
28. Pang C.N., Lai Y.W., Campbell L.T., Chen S.C., Carter D.A., Wilkins M.R. Transcriptome and network analyses in *Saccharomyces cerevisiae* reveal that amphotericin B and lactoferrin synergy disrupt metal homeostasis and stress response. *Scientific reports*. 2017; 7: 40232. <https://doi.org/10.1038/srep40232>
29. Fernandes K.E., Weeks K., Carter D.A. Lactoferrin is broadly active against yeasts and highly synergistic with amphotericin B. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2020; 64(5): e02284–19. <https://doi.org/10.1128/aac.02284-19>
30. Brouwer C. *et al.* Synthetic Human Lactoferrin Peptide hLF(1-11) Shows Antifungal Activity and Synergism with Fluconazole and Anidulafungin Towards *Candida albicans* and Various Non-*Albicans* *Candida* Species, Including *Candidozyma auris*. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*. 2025; 14(7): 671. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14070671>
31. Fernandes K.E., Carter D.A. The antifungal activity of lactoferrin and its derived peptides: mechanisms of action and synergy with drugs against fungal pathogens. *Frontiers in microbiology*. 2017; 8: 2. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00002>
32. Legrand D., Pierce A., Ellass E., Carpentier M., Mariller C., Mazurier J. Lactoferrin structure and functions. *Bioactive Components of Milk*. 2008; 606: 163–194. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_6
33. García-Montoya I.A., Cendón T.S., Arévalo-Gallegos S., Rascón-Cruz Q. Lactoferrin a multiple bioactive protein: an overview. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2012; 1820(3): 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.06.018>
34. Duarte D.C., Nicolau A., Teixeira J.A., Rodrigues L.R. The effect of bovine milk lactoferrin on human breast cancer cell lines. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94: 66–76. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3629>
35. Marchetti M., Superti F., Ammendolia M.G., Rossi P., Valenti P., Seganti L. Inhibition of poliovirus type 1 infection by iron-, manganese-, and zinc-saturated lactoferrin. *Medical Microbiology and Immunology (Berlin)*. 1999; 187: 199–204. <https://doi.org/10.1007/s004300050093>
36. Rodríguez D.A., Vázquez L., Ramos G. Actividad Antimicrobiana de la lactoferrina: Mecanismos y aplicaciones clínicas potenciales. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 2005; 47: 102–111.
37. Журавлев Д.Е., Салманова Д.А. Анализ биологической активности лактоферрина, получаемого из различных видов молочного сырья. *Пищевые инновации и биотехнологии: Сборник тезисов XIII Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2025; 255–257. EDN RMBIIR
38. Jańczuk A., Brodziak A., Czernecki T., Król J. Lactoferrin — The health-promoting properties and contemporary application with genetic aspects. *Foods*. 2022; 12(1): 70.
39. Sienkiewicz M., Jaśkiewicz A., Tarasiuk A., Fichna J. Lactoferrin: An overview of its main functions, immunomodulatory and antimicrobial role, and clinical significance. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2022; 62(22): 6016–6033.
40. Hassan M.A., Abdelmaksoud T.G., Abd El-Maksoud A.A. Effects of Lactoferrin Supplemented with Fermented Milk on Obesity-Associated Pancreatic Damage in Rats. *Life*. 2022; 12(12): 2019. <https://doi.org/10.3390/life1212019>
41. Del Olmo A., Calzada J., Nuñez Manuel M. Effect of lactoferrin and its derivatives against gram-positive bacteria in vitro and, combined with high pressure, in chicken breast fillets. *Meat Science*. 2012; 90(1): 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.003>
24. Luna-Castro S., Aguilar-Romero F., Samaniego-Barrón L., Godínez-Vargas D., De La Garza M. Effect of bovine apo-lactoferrin on the growth and virulence of *Actinobacillus pleuropneumoniae*. *Bio Metals*. 2014; 27: 891–903. <https://doi.org/10.1007/s10534-014-9752-5>
25. Xu G. *et al.* Lactoferrin-derived peptides and lactoferricin chimera inhibit virulence factor production and biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Applied Microbiology*. 2010; 109: 1311–1318. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04751.x>
26. Berlutti F. *et al.* Both lactoferrin and iron influence aggregation and biofilm formation in *Streptococcus mutans*. *Biometals*. 2004; 17: 271–278. <https://doi.org/10.1023/B:BIOM.0000027704.53859.d3>
27. Samokhina L.S. *et al.* Bifidogenic properties of lactoferrin peptides from cow's milk. *Issues of Biological, Medical, and Pharmaceutical Chemistry*. 2016; 2: 49–53 (in Russian). EDN VRXWBP
28. Pang C.N., Lai Y.W., Campbell L.T., Chen S.C., Carter D.A., Wilkins M.R. Transcriptome and network analyses in *Saccharomyces cerevisiae* reveal that amphotericin B and lactoferrin synergy disrupt metal homeostasis and stress response. *Scientific reports*. 2017; 7: 40232. <https://doi.org/10.1038/srep40232>
29. Fernandes K.E., Weeks K., Carter D.A. Lactoferrin is broadly active against yeasts and highly synergistic with amphotericin B. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2020; 64(5): e02284–19. <https://doi.org/10.1128/aac.02284-19>
30. Brouwer C. *et al.* Synthetic Human Lactoferrin Peptide hLF(1-11) Shows Antifungal Activity and Synergism with Fluconazole and Anidulafungin Towards *Candida albicans* and Various Non-*Albicans* *Candida* Species, Including *Candidozyma auris*. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*. 2025; 14(7): 671. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14070671>
31. Fernandes K.E., Carter D.A. The antifungal activity of lactoferrin and its derived peptides: mechanisms of action and synergy with drugs against fungal pathogens. *Frontiers in microbiology*. 2017; 8: 2. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00002>
32. Legrand D., Pierce A., Ellass E., Carpentier M., Mariller C., Mazurier J. Lactoferrin structure and functions. *Bioactive Components of Milk*. 2008; 606: 163–194. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_6
33. García-Montoya I.A., Cendón T.S., Arévalo-Gallegos S., Rascón-Cruz Q. Lactoferrin a multiple bioactive protein: an overview. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2012; 1820(3): 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.06.018>
34. Duarte D.C., Nicolau A., Teixeira J.A., Rodrigues L.R. The effect of bovine milk lactoferrin on human breast cancer cell lines. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94: 66–76. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3629>
35. Marchetti M., Superti F., Ammendolia M.G., Rossi P., Valenti P., Seganti L. Inhibition of poliovirus type 1 infection by iron-, manganese-, and zinc-saturated lactoferrin. *Medical Microbiology and Immunology (Berlin)*. 1999; 187: 199–204. <https://doi.org/10.1007/s004300050093>
36. Rodríguez D.A., Vázquez L., Ramos G. Actividad Antimicrobiana de la lactoferrina: Mecanismos y aplicaciones clínicas potenciales. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 2005; 47: 102–111 (in Spanish).
37. Zhuravlev D.E., Salmanova D.A. Analysis of the biological activity of lactoferrin obtained from various types of dairy raw materials. *Food Innovations and Biotechnology: Collection of Abstracts of the XIII All-Russian (National) Scientific Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists*. Kemerovo: Kemerovo State University, 2025; 255–257 (in Russian). EDN RMBIIR
38. Jańczuk A., Brodziak A., Czernecki T., Król J. Lactoferrin — The health-promoting properties and contemporary application with genetic aspects. *Foods*. 2022; 12(1): 70.
39. Sienkiewicz M., Jaśkiewicz A., Tarasiuk A., Fichna J. Lactoferrin: An overview of its main functions, immunomodulatory and antimicrobial role, and clinical significance. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2022; 62(22): 6016–6033.
40. Hassan M.A., Abdelmaksoud T.G., Abd El-Maksoud A.A. Effects of Lactoferrin Supplemented with Fermented Milk on Obesity-Associated Pancreatic Damage in Rats. *Life*. 2022; 12(12): 2019. <https://doi.org/10.3390/life1212019>
41. Del Olmo A., Calzada J., Nuñez Manuel M. Effect of lactoferrin and its derivatives against gram-positive bacteria in vitro and, combined with high pressure, in chicken breast fillets. *Meat Science*. 2012; 90(1): 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.003>

42. Franco I., Pérez M.D., Conesa C., Calvo M., Sánchez L. Effect of technological treatments on bovine lactoferrin: An overview. *Food Research International*. 2018; 106: 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.016>
43. Mizuki M. *et al.* Effect of lactoferrin on prevention of infectious diseases in winter: a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. In: *Abstract Book of the 14th International Conference on Lactoferrin Structure, Function and Applications*. Peru, 2019; 66.
44. Paesano R., Berlutti F., Pietropaoli M., Goolsbee W., Pacifici E., Valenti P. Lactoferrin efficacy versus ferrous sulfate in curing iron disorders in pregnant and non-pregnant women. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2010; 23: 577–587. <https://doi.org/10.1177/039463201002300220>
45. Saeed M., Hussain N., Ahmed S., Khan R.U., Andoh V., Husain S., Huayou C. The Potential of Lactoferrin: A Call for Future Research in Poultry Nutrition. *World's Poultry Science Journal*. 2023; 79: 731–750.
46. Kiani A.K., Bonetti G., Donato K., Bertelli M. Dietary supplements for intestinal inflammation. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*. 2022; 63(2 Suppl 3): E214–E220. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2763>
47. Rondanelli M., Gasparri C., Cavioni A., Sivieri C., Barille GC, Mansueto F, Perna S. A Patented dietary supplement (hydroxy-methyl-butyrates, carnosine, magnesium, butyrate, lactoferrin) is a promising therapeutic target for age-related sarcopenia through the regulation of gut permeability: A randomized controlled trial. *Nutrients*. 2024; 16(9): 1369. <https://doi.org/10.3390/nu16091369>
48. Amouheydari M., Ehsani M.R., Javadi I. Effect of a dietary supplement composed of hydrolyzed milk proteins and vanillin on the reduction of infection and oxidative stress induced by chemotherapy. *Journal of Food Biochemistry*. 2020; 44(10): e13434. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13434>
49. Harouna S. *et al.* Effect of hydrolysis and microwave treatment on the antibacterial activity of native bovine milk lactoferrin against *Cronobacter sakazakii*. *International Journal of Food Microbiology*. 2020; 319: Article 108495. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108495>
50. Adnan A. *et al.* Effect of lactoferrin supplementation on composition, fatty acids composition, lipolysis and sensory characteristics of cheddar cheese. *International Journal of Food Properties*. 2023; 26(1): 437–452. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2166953>
51. Serrano G. *et al.* Liposomal Lactoferrin as Potential Preventative and Cure for COVID-19. *International Journal of Research in Health Sciences*. 2020; 8(1): 8–15. <https://doi.org/10.5530/ijrhs.8.1.3>
52. Wolf J.S. *et al.* Oral lactoferrin results in T cell-dependent tumor inhibition of head and neck squamous cell carcinoma in vivo. *Clinical Cancer Research*. 2007; 13(5): 1601–1610. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-06-2008>
53. Onishi J., Roy M.K., Juneja L.R., Watanabe Y., Tamai Y. A lactoferrin-derived peptide with cationic residues concentrated in a region of its helical structure induces necrotic cell death in a leukemic cell line. *Journal of Peptide Science*. 2008; 14: 1032–1038. <https://doi.org/10.1002/psc.1039>
54. Kanwar J.R. *et al.* 'Iron-saturated' lactoferrin is a potent natural adjuvant for augmenting cancer chemotherapy. *Immunology & Cell Biology*. 2008; 86: 277–288.
55. Arcella A. *et al.* In vitro and in vivo effect of human lactoferrin on glioblastoma growth. *Journal of Neurosurgery*. 2015; (123): 1026–1035
56. Hong R. *et al.* A Review of the Biological Activities of Lactoferrin: Mechanisms and Potential Applications. *Food & Function*. 2024; 15: 8182–8199.
57. Saritaş S. *et al.* The Impact of Fermentation on the Antioxidant Activity of Food Products. *Molecules*. 2024; 29: 3941.
58. Kaplan M. *et al.* Production of Bovine Colostrum for Human Consumption to Improve Health. *Frontiers in Pharmacology*. 2022; 12: 796824.
59. Jańczuk A., Brodziak A., Król J., Czernecki T. Properties of Yoghurt Fortified in Lactoferrin with Effect of Storage Time. *Animals*. 2023; 13(10): 1610. <https://doi.org/10.3390/ani13101610>
60. Tsukahara T., Fujimori A., Misawa Y., Oda H., Yamauchi K., Abe F., Nomiya T. The Preventive Effect of Lactoferrin-Containing Yogurt on Gastroenteritis in Nursery School Children — Intervention Study for 15 Weeks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(7): 2534. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072534>
61. Palmano K.P., Ramos R., Watson M., Callon K.E., Cornish J. Survival and Bone-Active Properties of Bovine Lactoferrin Supplemented into Stirred Yoghurt. *International Dairy Journal*. 2011; 21: 477–483.
42. Franco I., Pérez M.D., Conesa C., Calvo M., Sánchez L. Effect of technological treatments on bovine lactoferrin: An overview. *Food Research International*. 2018; 106: 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.016>
43. Mizuki M. *et al.* Effect of lactoferrin on prevention of infectious diseases in winter: a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. In: *Abstract Book of the 14th International Conference on Lactoferrin Structure, Function and Applications*. Peru, 2019; 66.
44. Paesano R., Berlutti F., Pietropaoli M., Goolsbee W., Pacifici E., Valenti P. Lactoferrin efficacy versus ferrous sulfate in curing iron disorders in pregnant and non-pregnant women. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2010; 23: 577–587. <https://doi.org/10.1177/039463201002300220>
45. Saeed M., Hussain N., Ahmed S., Khan R.U., Andoh V., Husain S., Huayou C. The Potential of Lactoferrin: A Call for Future Research in Poultry Nutrition. *World's Poultry Science Journal*. 2023; 79: 731–750.
46. Kiani A.K., Bonetti G., Donato K., Bertelli M. Dietary supplements for intestinal inflammation. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*. 2022; 63(2 Suppl 3): E214–E220. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2763>
47. Rondanelli M., Gasparri C., Cavioni A., Sivieri C., Barille GC, Mansueto F, Perna S. A Patented dietary supplement (hydroxy-methyl-butyrates, carnosine, magnesium, butyrate, lactoferrin) is a promising therapeutic target for age-related sarcopenia through the regulation of gut permeability: A randomized controlled trial. *Nutrients*. 2024; 16(9): 1369. <https://doi.org/10.3390/nu16091369>
48. Amouheydari M., Ehsani M.R., Javadi I. Effect of a dietary supplement composed of hydrolyzed milk proteins and vanillin on the reduction of infection and oxidative stress induced by chemotherapy. *Journal of Food Biochemistry*. 2020; 44(10): e13434. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13434>
49. Harouna S. *et al.* Effect of hydrolysis and microwave treatment on the antibacterial activity of native bovine milk lactoferrin against *Cronobacter sakazakii*. *International Journal of Food Microbiology*. 2020; 319: Article 108495. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108495>
50. Adnan A. *et al.* Effect of lactoferrin supplementation on composition, fatty acids composition, lipolysis and sensory characteristics of cheddar cheese. *International Journal of Food Properties*. 2023; 26(1): 437–452. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2166953>
51. Serrano G. *et al.* Liposomal Lactoferrin as Potential Preventative and Cure for COVID-19. *International Journal of Research in Health Sciences*. 2020; 8(1): 8–15. <https://doi.org/10.5530/ijrhs.8.1.3>
52. Wolf J.S. *et al.* Oral lactoferrin results in T cell-dependent tumor inhibition of head and neck squamous cell carcinoma in vivo. *Clinical Cancer Research*. 2007; 13(5): 1601–1610. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-06-2008>
53. Onishi J., Roy M.K., Juneja L.R., Watanabe Y., Tamai Y. A lactoferrin-derived peptide with cationic residues concentrated in a region of its helical structure induces necrotic cell death in a leukemic cell line. *Journal of Peptide Science*. 2008; 14: 1032–1038. <https://doi.org/10.1002/psc.1039>
54. Kanwar J.R. *et al.* 'Iron-saturated' lactoferrin is a potent natural adjuvant for augmenting cancer chemotherapy. *Immunology & Cell Biology*. 2008; 86: 277–288.
55. Arcella A. *et al.* In vitro and in vivo effect of human lactoferrin on glioblastoma growth. *Journal of Neurosurgery*. 2015; (123): 1026–1035
56. Hong R. *et al.* A Review of the Biological Activities of Lactoferrin: Mechanisms and Potential Applications. *Food & Function*. 2024; 15: 8182–8199.
57. Saritaş S. *et al.* The Impact of Fermentation on the Antioxidant Activity of Food Products. *Molecules*. 2024; 29: 3941.
58. Kaplan M. *et al.* Production of Bovine Colostrum for Human Consumption to Improve Health. *Frontiers in Pharmacology*. 2022; 12: 796824.
59. Jańczuk A., Brodziak A., Król J., Czernecki T. Properties of Yoghurt Fortified in Lactoferrin with Effect of Storage Time. *Animals*. 2023; 13(10): 1610. <https://doi.org/10.3390/ani13101610>
60. Tsukahara T., Fujimori A., Misawa Y., Oda H., Yamauchi K., Abe F., Nomiya T. The Preventive Effect of Lactoferrin-Containing Yogurt on Gastroenteritis in Nursery School Children — Intervention Study for 15 Weeks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(7): 2534. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072534>
61. Palmano K.P., Ramos R., Watson M., Callon K.E., Cornish J. Survival and Bone-Active Properties of Bovine Lactoferrin Supplemented into Stirred Yoghurt. *International Dairy Journal*. 2011; 21: 477–483.

62. Fetouh M., Elbarbary H., Ibrahim E., Maarouf A. Afifi Effect of Adding Lactoferrin on Some Foodborne Pathogens in Yogurt. *Iranian Journal of Veterinary Medicine*. 2023; 17(3): 189–198. <https://doi.org/10.32598/ijvm.17.3.1005313>
63. Nadi W.G., Taher E.M., Awad A.A.N., Ahmed L.I. Lactoferrin's potential application in enhancing yoghurt's microbial and sensory qualities, with emphasis on the starter culture activity. *Journal of Dairy Research*. 2023; 90(4): 403–408. <https://doi.org/10.1017/S0022029923000675>
64. Shishir M.R.I., Suo H., Taip F.S., Cheng K.W. Lactoferrin-chia seed mucilage complex coacervates for intestinal delivery of quercetin and fortification of set yogurt. *Food Chemistry*. 2024; 456: 139818. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139818>
65. Franco I., Castillo E., Pérez M.D., Calvo M., Sánchez L. Effect of bovine lactoferrin addition to milk in yogurt manufacturing. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(10): 4480–4489. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-3006>
66. Naidu A.S. Activated lactoferrin - A new approach to meat safety. *Food Technology*. 2002; 56(3): 40–45.
67. Bobreneva I.V., Rokhlova M.V. Lactoferrin: properties and application. A review. *Theory and practice of meat processing*. 2021; 6(2): 128–134. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-2-128-134>
68. Bravo D., de Alba M., Medina M. Combined treatments of high-pressure with the lactoperoxidase system or lactoferrin on the inactivation of *listeria monocytogenes*, *salmonella enteritidis* and *escherichia coli* O157: H7 in beef carpaccio. *Food Microbiology*. 2014; 41: 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.01.010>
69. De Alba M., Bravo D., Medina M. Inactivation of *listeria monocytogenes* and *salmonella enteritidis* in dry-cured ham by combined treatments of high pressure and the lactoperoxidase system or lactoferrin. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015; 31: 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.013>
70. Montiel R., Martín-Cabrejas I., Medina M. Reuterin, lactoperoxidase, lactoferrin and high hydrostatic pressure on the inactivation of food-borne pathogens in cooked ham. *Food Control*. 2015; 51: 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.010>
71. Montiel R., Martín-Cabrejas I., Peirotén Á., Medina M. Reuterin, lactoperoxidase, lactoferrin and high hydrostatic pressure treatments on the characteristics of cooked ham. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 35: 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.013>
72. Adnan A. et al. Effect of Lactoferrin Supplementation on Composition, Fatty Acids Composition, Lipolysis and Sensory Characteristics of Cheddar Cheese. *International Journal of Food Properties*. 2023; 26: 437–452.
73. Ali E., Atteya L., Farag E., Helmy N., Nabil M. The Effect of Using Edible Coating Fortified with Lactoferrin on the Shelf Life of Oriental Sausage. *Benha Veterinary Medical Journal*. 2023; 45: 215–220.
74. Elsayed H., Hussei D.E.D.E. Hussein Impact of Different Concentrations of Lactoferrin on the Shelf Life of the Chilled Chicken Breast. *Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science*. 2022; 60.
75. Li F. et al. Improved Neurodevelopmental Outcomes Associated with Bovine Milk Fat Globule Membrane and Lactoferrin in Infant Formula: A Randomized, Controlled Trial. *The Journal of Pediatrics*. 2019; 215: 24–31. e8. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2019.08.030>
76. Chen K. et al. Dose Effect of Bovine Lactoferrin Fortification on Iron Metabolism of Anemic Infants. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology (Tokyo)*. 2020; 66(1): 24–31. <https://doi.org/10.3177/jnsv.66.24>
77. Tarnow-Mordi W.O. et al. The effect of lactoferrin supplementation on death or major morbidity in very low birthweight infants (LIFT): a multicentre, double-blind, randomised controlled trial. *The Lancet Child & Adolescent Health*. 2020; 4(6): 444–454. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30093-6](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30093-6)
78. Sawale M., Ozadali F., Valentine C.J., Benyathiar P., Drolia R., Mishra D.K. Impact of Bovine Lactoferrin Fortification on Pathogenic Organisms to Attenuate the Risk of Infection for Infants. *Food Control*. 2022; 139: 109078.
79. Motoki N. et al. Effects of Lactoferrin-Fortified Formula on Acute Gastrointestinal Symptoms in Children Aged 12–32 Months: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Frontiers in Pediatrics*. 2020; 8: 233.
80. Chen K. et al. Effect of bovine lactoferrin from iron-fortified formulas on diarrhea and respiratory tract infections of weaned infants in a randomized controlled trial. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*. 2016; 32: 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.08.010>
62. Fetouh M., Elbarbary H., Ibrahim E., Maarouf A. Afifi Effect of Adding Lactoferrin on Some Foodborne Pathogens in Yogurt. *Iranian Journal of Veterinary Medicine*. 2023; 17(3): 189–198. <https://doi.org/10.32598/ijvm.17.3.1005313>
63. Nadi W.G., Taher E.M., Awad A.A.N., Ahmed L.I. Lactoferrin's potential application in enhancing yoghurt's microbial and sensory qualities, with emphasis on the starter culture activity. *Journal of Dairy Research*. 2023; 90(4): 403–408. <https://doi.org/10.1017/S0022029923000675>
64. Shishir M.R.I., Suo H., Taip F.S., Cheng K.W. Lactoferrin-chia seed mucilage complex coacervates for intestinal delivery of quercetin and fortification of set yogurt. *Food Chemistry*. 2024; 456: 139818. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139818>
65. Franco I., Castillo E., Pérez M.D., Calvo M., Sánchez L. Effect of bovine lactoferrin addition to milk in yogurt manufacturing. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(10): 4480–4489. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-3006>
66. Naidu A.S. Activated lactoferrin - A new approach to meat safety. *Food Technology*. 2002; 56(3): 40–45.
67. Bobreneva I.V., Rokhlova M.V. Lactoferrin: properties and application. A review. *Theory and practice of meat processing*. 2021; 6(2): 128–134. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-2-128-134>
68. Bravo D., de Alba M., Medina M. Combined treatments of high-pressure with the lactoperoxidase system or lactoferrin on the inactivation of *listeria monocytogenes*, *salmonella enteritidis* and *escherichia coli* O157: H7 in beef carpaccio. *Food Microbiology*. 2014; 41: 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.01.010>
69. De Alba M., Bravo D., Medina M. Inactivation of *listeria monocytogenes* and *salmonella enteritidis* in dry-cured ham by combined treatments of high pressure and the lactoperoxidase system or lactoferrin. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015; 31: 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.013>
70. Montiel R., Martín-Cabrejas I., Medina M. Reuterin, lactoperoxidase, lactoferrin and high hydrostatic pressure on the inactivation of food-borne pathogens in cooked ham. *Food Control*. 2015; 51: 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.010>
71. Montiel R., Martín-Cabrejas I., Peirotén Á., Medina M. Reuterin, lactoperoxidase, lactoferrin and high hydrostatic pressure treatments on the characteristics of cooked ham. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 35: 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.013>
72. Adnan A. et al. Effect of Lactoferrin Supplementation on Composition, Fatty Acids Composition, Lipolysis and Sensory Characteristics of Cheddar Cheese. *International Journal of Food Properties*. 2023; 26: 437–452.
73. Ali E., Atteya L., Farag E., Helmy N., Nabil M. The Effect of Using Edible Coating Fortified with Lactoferrin on the Shelf Life of Oriental Sausage. *Benha Veterinary Medical Journal*. 2023; 45: 215–220.
74. Elsayed H., Hussei D.E.D.E. Hussein Impact of Different Concentrations of Lactoferrin on the Shelf Life of the Chilled Chicken Breast. *Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science*. 2022; 60.
75. Li F. et al. Improved Neurodevelopmental Outcomes Associated with Bovine Milk Fat Globule Membrane and Lactoferrin in Infant Formula: A Randomized, Controlled Trial. *The Journal of Pediatrics*. 2019; 215: 24–31. e8. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2019.08.030>
76. Chen K. et al. Dose Effect of Bovine Lactoferrin Fortification on Iron Metabolism of Anemic Infants. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology (Tokyo)*. 2020; 66(1): 24–31. <https://doi.org/10.3177/jnsv.66.24>
77. Tarnow-Mordi W.O. et al. The effect of lactoferrin supplementation on death or major morbidity in very low birthweight infants (LIFT): a multicentre, double-blind, randomised controlled trial. *The Lancet Child & Adolescent Health*. 2020; 4(6): 444–454. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30093-6](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30093-6)
78. Sawale M., Ozadali F., Valentine C.J., Benyathiar P., Drolia R., Mishra D.K. Impact of Bovine Lactoferrin Fortification on Pathogenic Organisms to Attenuate the Risk of Infection for Infants. *Food Control*. 2022; 139: 109078.
79. Motoki N. et al. Effects of Lactoferrin-Fortified Formula on Acute Gastrointestinal Symptoms in Children Aged 12–32 Months: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Frontiers in Pediatrics*. 2020; 8: 233.
80. Chen K. et al. Effect of bovine lactoferrin from iron-fortified formulas on diarrhea and respiratory tract infections of weaned infants in a randomized controlled trial. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*. 2016; 32: 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.08.010>

81. Ishikado A. *et al.* Liposomal lactoferrin induced significant increase of the interferon-alpha (IFN-alpha) producibility in healthy volunteers. *BioFactors (Oxford, England)*. 2004; 21: 69–72. <https://doi.org/10.1002/biof.552210113>
82. Acero-Lopez A., Schell P., Corredig M., Alexander M. Characterization of Lactoferrin oil-in-water Emulsions and Their Stability in Recombined Milk. *Journal of Dairy Research*. 2010; 77(4): 445–451. <https://doi.org/10.1017/S0022029910000622>
83. Abad I., Conesa C., Sánchez L. Development of Encapsulation Strategies and Composite Edible Films to Maintain Lactoferrin Bioactivity: A Review. *Materials (Basel)*. 2021; 14(23): 7358. <https://doi.org/10.3390/ma14237358>
84. Tavassoli M. *et al.* Methylcellulose/Chitosan Nanofiber-Based Composites Doped with Lactoferrin-Loaded Ag-MOF Nanoparticles for the Preservation of Fresh Apple. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 259: 129182.
85. Tu M. *et al.* Identification of Dual-Function Bovine Lactoferrin Peptides Released Using Simulated Gastrointestinal Digestion. *Food Bioscience*. 2021; 39: 100806.
86. Kowalczyk P., Kaczyńska K., Kleczkowska P., Bukowska-Ośko I., Kramkowski K., Sulejczak D. The Lactoferrin Phenomenon — A Miracle Molecule. *Molecules* 2022; 27: 2941.
87. Bolat E. *et al.* Polyphenols: Secondary Metabolites with a Biological Impression. *Nutrients* 2024; 16: 2550.
88. Kaczmarek K.A., Kosewski G., Dobrzyńska M., Drzymała-Czyż S. Lactoferrin Production: A Systematic Review of the Latest Analytical Methods. *Applied Sciences*. 2025; 15(8):4540. <https://doi.org/10.3390/app15084540>
89. Sharma A., Gupta G., Ahmad T., Kaur B., Hakeem K.R. Tailoring Cellular Metabolism in Lactic Acid Bacteria through Metabolic Engineering. *Journal of Microbiological Methods*. 2020; 170: 105862. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105862>
90. Van Der Strate B.W.A., Belijaars L., Molema G., Harmsen M.C., Meijer D.K.F. Antiviral activities of lactoferrin. *Antiviral Research*. 2001; 52: 225–239. [https://doi.org/10.1016/s0166-3542\(01\)00195-4](https://doi.org/10.1016/s0166-3542(01)00195-4)
91. Tomita M., Wakabayashi H., Yamauchi K., Teraguchi S., Hayasawa H. Bovine lactoferrin and lactoferricina derived from milk: production and applications. *Biochemistry and Cell Biology*. 2002; 80: 109–112. <https://doi.org/10.1139/o01-230>
92. Stowell K.M., Rado T.A., Funk W.D., Tweedie J.W. Expression of cloned human lactoferrin in baby-hamster kidney cells. *Biochemical Journal*. 1991; 276: 349–355. <https://doi.org/10.1042/bj2760349>
93. Ward P.P., Piddington C.S., Cunningham G., Zhou X., Wyat R., Conneely O. A system for production of commercial quantities of human lactoferrin: a broad spectrum natural antibiotic. *Nature Biotechnology*. 1995; 13: 498–503. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-498>
94. Chen H.L. *et al.* Probiotic *Lactobacillus casei* expressing human lactoferrin elevates antibacterial activity in the gastrointestinal tract. *BioMetals*. 2010; 23: 543–554. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9298-0>
95. Zhang D.B., Jiang Y.L., Wu X.F., Hong M.M. Expression of human lactoferrin cDNA in insect cells. *Sheng wu hua xue yu sheng wu wu li xue bao Acta biochimica et biophysica Sinica*. 1998; 30: 575–578.
96. Liu T., Zhang Y.Z., Wu X.F. High level expression of functionally active human lactoferrin in silkworm larvae. *Journal of Biotechnology*. 2005; 118: 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2005.05.005>
97. Zhang Z., Coyne D., Vidaver A., Mitra A. Expression of human lactoferrin cDNA confers resistance to *Ralstonia solanacearum* in transgenic tobacco plants. *Phytopathology*. 1998; 88: 730–734. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.7.730>
98. Nguyen T.C., Lakshaan D.K., Han J., Galvez L., Mitra A. Transgenic plants expressing antimicrobial lactoferrin protein are resistant to a fungal pathogen. *Journal of plant molecular biology & biotechnology*. 2011; 2: 1–8.
99. Nandi S., Yalda D., Lu S., Nikolv Z., Misaki R., Fujiyama K., Huang N. Process development and economic evaluation of recombinant human lactoferrin expressed in rice grain. *Transgenic Research*. 2005; 14: 237–249. <https://doi.org/10.1007/s11248-004-8120-6>
100. Suzuki Y., Kelleher S., Yalda D., Wu L., Huang J., Huang N., Lönnerdal B. Expression, characterization, and biologic activity of recombinant human lactoferrin in rice. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 2003; 36: 190–199. <https://doi.org/10.1097/00005176-200302000-00007>
101. Conesa C., Calvo M., Sánchez L. Recombinant human lactoferrin: a valuable protein for pharmaceutical products and functional foods. *Biotechnology Advances*. 2010; 28: 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.07.002>
81. Ishikado A. *et al.* Liposomal lactoferrin induced significant increase of the interferon-alpha (IFN-alpha) producibility in healthy volunteers. *BioFactors (Oxford, England)*. 2004; 21: 69–72. <https://doi.org/10.1002/biof.552210113>
82. Acero-Lopez A., Schell P., Corredig M., Alexander M. Characterization of Lactoferrin oil-in-water Emulsions and Their Stability in Recombined Milk. *Journal of Dairy Research*. 2010; 77(4): 445–451. <https://doi.org/10.1017/S0022029910000622>
83. Abad I., Conesa C., Sánchez L. Development of Encapsulation Strategies and Composite Edible Films to Maintain Lactoferrin Bioactivity: A Review. *Materials (Basel)*. 2021; 14(23): 7358. <https://doi.org/10.3390/ma14237358>
84. Tavassoli M. *et al.* Methylcellulose/Chitosan Nanofiber-Based Composites Doped with Lactoferrin-Loaded Ag-MOF Nanoparticles for the Preservation of Fresh Apple. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 259: 129182.
85. Tu M. *et al.* Identification of Dual-Function Bovine Lactoferrin Peptides Released Using Simulated Gastrointestinal Digestion. *Food Bioscience*. 2021; 39: 100806.
86. Kowalczyk P., Kaczyńska K., Kleczkowska P., Bukowska-Ośko I., Kramkowski K., Sulejczak D. The Lactoferrin Phenomenon — A Miracle Molecule. *Molecules* 2022; 27: 2941.
87. Bolat E. *et al.* Polyphenols: Secondary Metabolites with a Biological Impression. *Nutrients* 2024; 16: 2550.
88. Kaczmarek K.A., Kosewski G., Dobrzyńska M., Drzymała-Czyż S. Lactoferrin Production: A Systematic Review of the Latest Analytical Methods. *Applied Sciences*. 2025; 15(8):4540. <https://doi.org/10.3390/app15084540>
89. Sharma A., Gupta G., Ahmad T., Kaur B., Hakeem K.R. Tailoring Cellular Metabolism in Lactic Acid Bacteria through Metabolic Engineering. *Journal of Microbiological Methods*. 2020; 170: 105862. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105862>
90. Van Der Strate B.W.A., Belijaars L., Molema G., Harmsen M.C., Meijer D.K.F. Antiviral activities of lactoferrin. *Antiviral Research*. 2001; 52: 225–239. [https://doi.org/10.1016/s0166-3542\(01\)00195-4](https://doi.org/10.1016/s0166-3542(01)00195-4)
91. Tomita M., Wakabayashi H., Yamauchi K., Teraguchi S., Hayasawa H. Bovine lactoferrin and lactoferricina derived from milk: production and applications. *Biochemistry and Cell Biology*. 2002; 80: 109–112. <https://doi.org/10.1139/o01-230>
92. Stowell K.M., Rado T.A., Funk W.D., Tweedie J.W. Expression of cloned human lactoferrin in baby-hamster kidney cells. *Biochemical Journal*. 1991; 276: 349–355. <https://doi.org/10.1042/bj2760349>
93. Ward P.P., Piddington C.S., Cunningham G., Zhou X., Wyat R., Conneely O. A system for production of commercial quantities of human lactoferrin: a broad spectrum natural antibiotic. *Nature Biotechnology*. 1995; 13: 498–503. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-498>
94. Chen H.L. *et al.* Probiotic *Lactobacillus casei* expressing human lactoferrin elevates antibacterial activity in the gastrointestinal tract. *BioMetals*. 2010; 23: 543–554. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9298-0>
95. Zhang D.B., Jiang Y.L., Wu X.F., Hong M.M. Expression of human lactoferrin cDNA in insect cells. *Sheng wu hua xue yu sheng wu wu li xue bao Acta biochimica et biophysica Sinica*. 1998; 30: 575–578.
96. Liu T., Zhang Y.Z., Wu X.F. High level expression of functionally active human lactoferrin in silkworm larvae. *Journal of Biotechnology*. 2005; 118: 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2005.05.005>
97. Zhang Z., Coyne D., Vidaver A., Mitra A. Expression of human lactoferrin cDNA confers resistance to *Ralstonia solanacearum* in transgenic tobacco plants. *Phytopathology*. 1998; 88: 730–734. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.7.730>
98. Nguyen T.C., Lakshaan D.K., Han J., Galvez L., Mitra A. Transgenic plants expressing antimicrobial lactoferrin protein are resistant to a fungal pathogen. *Journal of plant molecular biology & biotechnology*. 2011; 2: 1–8.
99. Nandi S., Yalda D., Lu S., Nikolv Z., Misaki R., Fujiyama K., Huang N. Process development and economic evaluation of recombinant human lactoferrin expressed in rice grain. *Transgenic Research*. 2005; 14: 237–249. <https://doi.org/10.1007/s11248-004-8120-6>
100. Suzuki Y., Kelleher S., Yalda D., Wu L., Huang J., Huang N., Lönnerdal B. Expression, characterization, and biologic activity of recombinant human lactoferrin in rice. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 2003; 36: 190–199. <https://doi.org/10.1097/00005176-200302000-00007>
101. Conesa C., Calvo M., Sánchez L. Recombinant human lactoferrin: a valuable protein for pharmaceutical products and functional foods. *Biotechnology Advances*. 2010; 28: 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.07.002>

102. Tian Z.G. *et al.* Multimerization and fusion expression of bovine lactoferrin derivative Lfcin B15-W4, 10 in *Escherichia coli*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007; 75: 117–124. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0806-7>
103. Feng X.J. *et al.* Fusion expression of bovine lactoferrin in *Escherichia coli*. *Protein Expression and Purification*. 2006; 47: 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2005.08.016>
104. Chen G.H., Yin L.J., Chiang I.H., Jiang S.T. Expression and purification of goat lactoferrin from *Pichia pastoris* expression system. *Journal of Food Science*. 2007; 72: 67–71. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00281.x>
105. Paramasivam M., Saravanan K., Uma K., Sharma S., Singh T.P., Srinivasan A. Expression, purification and characterization of equine lactoferrin in *Pichia pastoris*. *Protein Expression and Purification*. 2002; 26: 28–34. [https://doi.org/10.1016/S1046-5928\(02\)00528-4](https://doi.org/10.1016/S1046-5928(02)00528-4)
106. Wang S.H., Yang T.S., Lin S.M., Tsai M.S., Wu S.C., Mao S. Expression, characterization and purification of recombinant porcine lactoferrin in *Pichia pastoris*. *Protein Expression and Purification*. 2002; 25: 41–49. <https://doi.org/10.1006/prep.2001.1607>
107. Kim H.K. *et al.* Expression of the cationic antimicrobial peptide lactoferricin fused with the anionic peptide in *Escherichia coli*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006; 72: 330–338. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0266-5>
108. Wang H.K., Zhao X.H., Lu F.P. Heterologous expression of bovine lactoferrin in *Pichia methanolicola*. *Biochemistry*. 2007; 72: 640–643. <https://doi.org/10.1134/S0006297907060065>
109. Zhang J. *et al.* Expression of active recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic goats. *Protein Expression and Purification*. 2008; 57: 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2007.10.015>
110. Han Z.S. *et al.* High-level expression of human lactoferrin in the milk of goats by using replication-defective adenoviral vectors. *Protein Expression and Purification*. 2007; 53: 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2006.11.019>
111. Van Berkel P. *et al.* Large scale production of recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic cows. *Nature Biotechnology*. 2002; 20: 484–487. <https://doi.org/10.1038/nbt0502-484>
112. Hyvönen P. *et al.* Transgenic cows that produce recombinant human lactoferrin in milk are not protected from experimental *Escherichia coli* intramammary infection. *Infection and Immunity*. 2006; 74: 6206–6212. <https://doi.org/10.1128/IAI.00238-06>
113. Nuijens J.H. *et al.* Characterization of recombinant human lactoferrin secrete in milk of transgenic mice. *Journal of Biological Chemistry*. 1997; 272: 8802–8807. <https://doi.org/10.1074/jbc.272.13.8802>
114. Han Z.S. *et al.* Adenoviral vector mediates high expression levels of human lactoferrin in the milk of rabbits. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2008; 18: 153–159.
115. Будевич А. Перспективы рекомбинантного лактоферрина человека, получаемого из молока коз-продуцентов. *Наука и инновации*. 2016; (6): 29–32. <https://www.elibrary.ru/wdmzll>
116. Tomita M., Wakabayashi H., Shin K., Yamauchi K., Yaeshima T., Iwatsuki K. Twenty-five years of research on bovine lactoferrin applications. *Biochimie*. 2008; 91(1): 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2008.05.021>
117. Coşkun N., Sarıtaş S., Jaouhari Y., Bordiga M., Karav S. The Impact of Freeze Drying on Bioactivity and Physical Properties of Food Products. *Applied Sciences*. 2024; 14: 9183.
118. Vishwanath-Deutsch R. *et al.* A review of the safety evidence on recombinant human lactoferrin for use as a food ingredient. *Food and Chemical Toxicology*. 2024; 189: 114727. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114727>
119. Magnuson B. *et al.* Review of the regulation and safety assessment of food substances in various countries and jurisdictions. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. 2013; 30(7): 1147–220. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.795293>
120. Richardson V., Freeman E., Fitzpatrick L., Amirat L., Kubo M., Li M. Essential Guide to Food Additives. Chapter 5. *Legislation for Food Additives Outside Europe*. 2013; 65–90. <https://doi.org/10.1039/9781849734981-00065>
121. Kwon Y., López-García R., Socolovsky S., Magnuson B. Global regulations for the use of food additives and processing aids. In book: *Present Knowledge in Food Safety*, 2023; 170–193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00067-6>
102. Tian Z.G. *et al.* Multimerization and fusion expression of bovine lactoferrin derivative Lfcin B15-W4, 10 in *Escherichia coli*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007; 75: 117–124. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0806-7>
103. Feng X.J. *et al.* Fusion expression of bovine lactoferrin in *Escherichia coli*. *Protein Expression and Purification*. 2006; 47: 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2005.08.016>
104. Chen G.H., Yin L.J., Chiang I.H., Jiang S.T. Expression and purification of goat lactoferrin from *Pichia pastoris* expression system. *Journal of Food Science*. 2007; 72: 67–71. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00281.x>
105. Paramasivam M., Saravanan K., Uma K., Sharma S., Singh T.P., Srinivasan A. Expression, purification and characterization of equine lactoferrin in *Pichia pastoris*. *Protein Expression and Purification*. 2002; 26: 28–34. [https://doi.org/10.1016/S1046-5928\(02\)00528-4](https://doi.org/10.1016/S1046-5928(02)00528-4)
106. Wang S.H., Yang T.S., Lin S.M., Tsai M.S., Wu S.C., Mao S. Expression, characterization and purification of recombinant porcine lactoferrin in *Pichia pastoris*. *Protein Expression and Purification*. 2002; 25: 41–49. <https://doi.org/10.1006/prep.2001.1607>
107. Kim H.K. *et al.* Expression of the cationic antimicrobial peptide lactoferricin fused with the anionic peptide in *Escherichia coli*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006; 72: 330–338. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0266-5>
108. Wang H.K., Zhao X.H., Lu F.P. Heterologous expression of bovine lactoferrin in *Pichia methanolicola*. *Biochemistry*. 2007; 72: 640–643. <https://doi.org/10.1134/S0006297907060065>
109. Zhang J. *et al.* Expression of active recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic goats. *Protein Expression and Purification*. 2008; 57: 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2007.10.015>
110. Han Z.S. *et al.* High-level expression of human lactoferrin in the milk of goats by using replication-defective adenoviral vectors. *Protein Expression and Purification*. 2007; 53: 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2006.11.019>
111. Van Berkel P. *et al.* Large scale production of recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic cows. *Nature Biotechnology*. 2002; 20: 484–487. <https://doi.org/10.1038/nbt0502-484>
112. Hyvönen P. *et al.* Transgenic cows that produce recombinant human lactoferrin in milk are not protected from experimental *Escherichia coli* intramammary infection. *Infection and Immunity*. 2006; 74: 6206–6212. <https://doi.org/10.1128/IAI.00238-06>
113. Nuijens J.H. *et al.* Characterization of recombinant human lactoferrin secrete in milk of transgenic mice. *Journal of Biological Chemistry*. 1997; 272: 8802–8807. <https://doi.org/10.1074/jbc.272.13.8802>
114. Han Z.S. *et al.* Adenoviral vector mediates high expression levels of human lactoferrin in the milk of rabbits. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2008; 18: 153–159.
115. Budevich A. Prospects for recombinant human lactoferrin obtained from the milk of goat producers. *Science and Innovation*. 2016; (6): 29–32 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wdmzll>
116. Tomita M., Wakabayashi H., Shin K., Yamauchi K., Yaeshima T., Iwatsuki K. Twenty-five years of research on bovine lactoferrin applications. *Biochimie*. 2008; 91(1): 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2008.05.021>
117. Coşkun N., Sarıtaş S., Jaouhari Y., Bordiga M., Karav S. The Impact of Freeze Drying on Bioactivity and Physical Properties of Food Products. *Applied Sciences*. 2024; 14: 9183.
118. Vishwanath-Deutsch R. *et al.* A review of the safety evidence on recombinant human lactoferrin for use as a food ingredient. *Food and Chemical Toxicology*. 2024; 189: 114727. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114727>
119. Magnuson B. *et al.* Review of the regulation and safety assessment of food substances in various countries and jurisdictions. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. 2013; 30(7): 1147–220. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.795293>
120. Richardson V., Freeman E., Fitzpatrick L., Amirat L., Kubo M., Li M. Essential Guide to Food Additives. Chapter 5. *Legislation for Food Additives Outside Europe*. 2013; 65–90. <https://doi.org/10.1039/9781849734981-00065>
121. Kwon Y., López-García R., Socolovsky S., Magnuson B. Global regulations for the use of food additives and processing aids. In book: *Present Knowledge in Food Safety*, 2023; 170–193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00067-6>

122. Wakabayashi H., Yamauchi K., Abe F. Quality Control of Commercial Bovine Lactoferrin. *Biometals*. 2018; 31: 313–319.

123. Ребезов Я.М., Ребезов М.Б., Медведева У.Ю. Перспектива применения лактоферрина в животноводстве. *Аграрная наука*. 2026; (2):40–59.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-40-59>

ОБ АВТОРАХ

Ярослав Максимович Ребезов¹

кандидат биологических наук, научный сотрудник,
 Сектор прикладной биотехнологии;
 учебно-научная исследовательская лаборатория
 химико-технологического института
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

Максим Борисович Ребезов²

доктор сельскохозяйственных наук,
 профессор, главный научный сотрудник
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Ульяна Юрьевна Медведева¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
 кафедры технологии производства и переработки
 сельскохозяйственной продукции химико-
 технологического института
medvedevau@rambler.ru
<https://orcid.org/0009-0002-0253-4447>

¹Новгородский государственный университет
 имени Ярослава Мудрого,
 ул. Большая Санкт-Петербургская, 41, Великий Новгород,
 173003, Россия

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

122. Wakabayashi H., Yamauchi K., Abe F. Quality Control of Commercial Bovine Lactoferrin. *Biometals*. 2018; 31: 313–319.

123. Rebezov Ya.M., Rebezov M.B., Medvedeva U.Yu. Prospects for the use of lactoferrin in animal husbandry. *Agrarian science*. 2026; (2):40–59. (In Russian)
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-40-59>

ABOUT THE AUTHORS

Yaroslav Maksimovich Rebezov¹

Candidate of biological sciences,
 Research Fellow, Applied Biotechnology Sector;
 Educational and scientific research laboratory
 of the Institute of Chemical Technology
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

Maksim Borisovich Rebezov²

Doctor of Agricultural Sciences,
 Professor, Chief Researcher
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Ulyana Yuryevna Medvedeva¹

Candidate of agricultural sciences, Associate Professor
 of the Department of technology of production
 and processing of agricultural products
 at the Institute of chemical technology
medvedevau@rambler.ru
<https://orcid.org/0009-0002-0253-4447>

¹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,
 41 Bolshaya Sankt-Peterburgskaya st., Veliky Novgorod,
 173003, Russia

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

УДК 004.658+631.171+004.032.26

Краткое сообщение



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-173-178

Р. Р. Гибадуллин ✉

О.Д. Семенова

Казанский государственный
энергетический университет,
Казань, Россия

✉ torianin@mail.ru

Поступила в редакцию: 20.03.2026

Одобрена после рецензирования: 23.05.2026

Принята к публикации: 06.06.2026

© Гибадуллин Р.Р., Семенова О.Д.

Архитектура программно-аппаратного комплекса обработки больших данных в распределённых системах мониторинга и диагностики технологических параметров сельскохозяйственных объектов

РЕЗЮМЕ

Разработана пятиуровневая архитектура программно-аппаратного комплекса обработки потоковых данных в распределённых системах мониторинга и диагностики технологических параметров сельскохозяйственных объектов. Актуальность определена ростом объемов сенсорной телеметрии АПК при ограниченной пропускной способности сельских каналов связи. Архитектура объединяет полевые сенсорные узлы на ESP32-S3 с датчиками влажности, температуры и мультиспектральными модулями, концентраторы LoRaWAN на Raspberry Pi с платами RAK2287, распределённую шину Apache Kafka из трех брокеров, потоковый аналитический движок Apache Spark Structured Streaming и аналитическое хранилище PostgreSQL с расширением TimescaleDB. Сопоставлены три архитектурных паттерна — Lambda, Kappa и гибридный периферийно-облачный — по медианной задержке, пропускной способности, доле потерянных сообщений и совокупной стоимости владения. Предложена методика расчёта индекса качества мониторинга IQM с весами, полученными методом анализа иерархий по согласованным экспертным оценкам. Верификация проведена на стенде из 240 сенсорных узлов с 14-суточным непрерывным нагрузочным тестированием на четырех частотах опроса. Гибридный паттерн обеспечил медианную задержку 92 мс при пропускной способности 14 600 сообщений в секунду, доле потерь 0,11% и сокращении облачного трафика в 4,8 раза за счёт периферийной агрегации 78% сообщений на уровне концентраторов. Методика верифицирована статистически.

Ключевые слова: большие данные, мониторинг сельскохозяйственных объектов, потоковая аналитика, распределённая архитектура, интернет вещей, диагностика технологических параметров, машинное обучение

Для цитирования: Гибадуллин Р.Р., Семенова О.Д. Архитектура программно-аппаратного комплекса обработки больших данных в распределённых системах мониторинга и диагностики технологических параметров сельскохозяйственных объектов. *Аграрная наука*. 2026; 407(06): 173–178.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-173-178>

Short communications



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-173-178

Ramil R. Gibadullin ✉

Olga D. Semenova

Kazan State Power Engineering
University, Kazan, Russia

✉ torianin@mail.ru

Received by the editorial office: 20.03.2026

Accepted in revised: 23.05.2026

Accepted for publication: 06.06.2026

© Gibadullin R.R., Semenova O.D.

Architecture of a hardware-software complex for big data processing in distributed monitoring and diagnostic systems of technological parameters of agricultural objects

ABSTRACT

A five-level architecture has been developed for a software-hardware complex designed for processing streaming data in distributed monitoring and diagnostic systems of technological parameters for agricultural facilities. The relevance of this work is determined by the growing volume of sensor telemetry in the agricultural sector, given the limited bandwidth of rural communication channels. The architecture integrates field sensor nodes based on ESP32-S3 microcontrollers equipped with humidity, temperature, and multispectral modules; LoRaWAN gateways on Raspberry Pi with RAK2287 boards; a distributed Apache Kafka bus comprising three brokers; an Apache Spark Structured Streaming analytical engine; and an analytical storage system based on PostgreSQL with the TimescaleDB extension. A comparative evaluation was conducted of three architectural patterns — Lambda, Kappa, and a hybrid edge-cloud model — assessing median latency, throughput, message loss rate, and total cost of ownership. A methodology for calculating the Monitoring Quality Index (IQM) is proposed, with weights derived from the Analytic Hierarchy Process (AHP) based on consistent expert judgments. Verification was performed using a testbed comprising 240 sensor nodes under continuous 14-day stress testing at four polling frequencies. The hybrid architecture achieved a median latency of 92 ms, a throughput of 14,600 messages per second, a message loss rate of 0.11%, and reduced cloud traffic by a factor of 4.8 through edge-level aggregation of 78% of incoming messages. The proposed methodology was verified statistically.

Key words: big data, monitoring of agricultural objects, stream analytics, distributed architecture, Internet of Things, diagnostics of technological parameters, machine learning

For citation: Gibadullin R.R., Semenova O.D. Architecture of a hardware-software complex for big data processing in distributed monitoring and diagnostic systems of technological parameters of agricultural objects. *Agrarian science*. 2026; 407(06): 173–178 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-173-178>

Введение/Introduction

Современный агропромышленный комплекс генерирует потоки данных, сопоставимые по интенсивности с энергетикой и промышленностью; беспроводные системы измерения параметров среды активно развиваются как массовая основа цифрового мониторинга агрообъектов [1]. Источники телеметрии разнородны: почвенные и метеорологические датчики, бортовые контроллеры сельхозтехники, мультиспектральная съемка с беспилотных летательных аппаратов и спутников, акустико-вибрационные модули на стационарном оборудовании. Сочетание высокой частоты выборки, пространственной разнесенности узлов и требования почти-реального времени помещает агроданные в категорию больших данных по всем формальным критериям. Платформенный подход к их обработке формируется в отечественной практике лишь в последнее десятилетие [2], а для значительной части сельских территорий он по-прежнему ограничен пропускной способностью каналов связи.

Опубликованные решения охватывают отдельные задачи: оперативный спутниковый и сенсорный мониторинг посевов [3], автоматизированная диагностика сорной растительности с дифференцированным внесением гербицидов [4], информационные системы хранения и обработки данных мониторинга угодий [5], программные комплексы дистанционного контроля узлов и агрегатов сельхозмашин [6], мониторинг агробиоценозов в условиях контролируемого выращивания [7], мониторинг состояния опорных конструкций интенсивных садов [8]. Появляется опыт применения интегральных систем мониторинга в сложных природно-климатических условиях [9]. Однако законченной архитектуры потоковой обработки для распределенного сельхозобъекта, увязывающей в единый конвейер полевой сенсор, периферийный концентратор, шину сообщений и аналитическое хранилище, в отечественной литературе не представлено. Зарубежные обзоры архитектур IoT-платформ для АПК [10] и систематические обзоры комбинаций облачных, туманных и периферийных вычислений в интеллектуальном земледелии [11] указывают на гибридный периферийно-облачный паттерн как на наиболее перспективный, но количественные сравнения в отечественных условиях пока единичны.

Цель исследования — разработать пятиуровневую архитектуру программно-аппаратного комплекса обработки потоковых данных для распределенной системы мониторинга и диагностики технологических параметров сельскохозяйственных объектов и экспериментально верифицировать ее на стенде, эквивалентном среднему хозяйству.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент выполнен на стенде Казанского государственного энергетического университета (ноябрь 2025 г. — февраль 2026 г.).

Стенд моделирует агрокомплекс площадью 120 га, разделенный на 12 технологических зон, включает 240 сенсорных узлов четырех типов. Климатические узлы построены на микроконтроллере ESP32-S3 (Espressif Systems, Китай) с цифровыми датчиками SHT41 (Sensirion AG, Швейцария; $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 1,5\%$ RH) и BMP390 (Robert Bosch GmbH, Германия). Почвенные узлы используют емкостные датчики Teros 12 (METER Group, США) для одновременного измерения объемной влажности, электропроводности и температуры почвы. Мультиспектральные NDVI-узлы реализованы на спектральном датчике AS7265x (ams-OSRAM AG, Австрия). Акустико-вибрационные узлы оснащены пьезоэлектрическими преобразователями и цифровыми акселерометрами ADXL355 (Analog Devices, США) для контроля состояния приводов поливной техники [12].

Связь сенсоров с концентраторами выполнена по LoRaWAN 1.0.4 в полосе 868 МГц с адаптивным выбором коэффициента расширения SF7–SF12 в зависимости от удаленности узла; такое решение типично для агросистем большой площади и обеспечивает дальность до нескольких километров при низком энергопотреблении [13]. Восемь концентраторов построены на одноплатных компьютерах Raspberry Pi CM4 с радиоплатами RAK2287 (RAKwireless, Китай). Распределенная шина сообщений реализована на Apache Kafka 3.6.1 в кластере из трех брокеров (Intel Xeon Silver 4314, 64 ГБ DDR4 ECC, NVMe-хранилище) с репликацией $\times 3$ и семантикой at-least-once; конфигурация согласована с рекомендациями по тонкой настройке Kafka-кластеров для потоковых нагрузок [14]. Потоковая обработка выполнена на Apache Spark Structured Streaming 3.5.0 (четыре исполнителя в Kubernetes 1.29). Хранилище — PostgreSQL 16.2 с расширением TimescaleDB 2.14: гипертаблицы с автоматическим колоночным сжатием и политикой удержания 730 суток, выбор обоснован сравнительными бенчмарками IoT-нагрузок на временные ряды [15]. Визуализация и алертинг — Grafana 10.4 и Prometheus 2.51.

Диагностический конвейер реализован на Python 3.12 с использованием scikit-learn 1.4, LightGBM 4.3 и XGBoost 2.0. Обучающая выборка сформирована из архива телеметрии за январь 2026 г.: после удаления окон с долей пропусков более 5% и стратифицированной балансировки в работу вошли 480 тыс. размеченных окон длительностью 60 с по 12 классам состояний (штатный режим и 11 типов отклонений: ранняя засуха, переувлажнение, тепловой стресс, гипотермия, дефицит азота по NDVI, вибрационная разбалансировка привода, утечка гидравлики и др.). Разметка проведена пятью экспертами (двое агрономов, двое инженеров по эксплуатации, один специалист по защите растений) методом двойного независимого кодирования с арбитражем; межэкспертная согласованность по к Коэна

составила 0,76 на первом раунде и 0,87 после арбитража. Качество моделей оценивалось пятикратной стратифицированной кросс-валидацией.

Для интегральной оценки архитектурных решений предложен индекс качества мониторинга:

$$IQM \pm w_1 \times (1 - Tlat/Tmax) + w_2 \times (Q/Qmax) + w_3 \times (1 - Ploss) + w_4 \times Accdiag,$$

где Tlat — медианная сквозная задержка; Tmax ± 500 мс — верхняя граница приемлемости для диагностических задач АПК; Q — пропускная способность; Qmax ± 16 800 сообщ./с (потолок конфигурации Kafka по результатам калибровки); Ploss — доля потерянных сообщений; Accdiag — точность диагностики. Веса w1 ± 0,30; w2 ± 0,25; w3 ± 0,20; w4 ± 0,25 определены методом анализа иерархий по Саати на основе попарных сравнений семи экспертов (табл. 1). Индекс согласованности CI ± 0,020, отношение согласованности CR ± 0,022 (< 0,10), что подтверждает корректность весов.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Конвейер обработки потоковых данных организован в виде пятиуровневого стека, в котором каждый уровень решает строго фиксированный класс задач — от первичного измерения до постоянного хранения и визуализации. Общая компоновка комплекса с указанием конкретного оборудования, программных компонентов и ключевых характеристик потока данных между уровнями приведена на рис. 1.

Таблица 1. Матрица попарных сравнений критериев IQM по шкале Саати

Table 1. Pairwise comparison matrix of IQM criteria on the Saaty scale

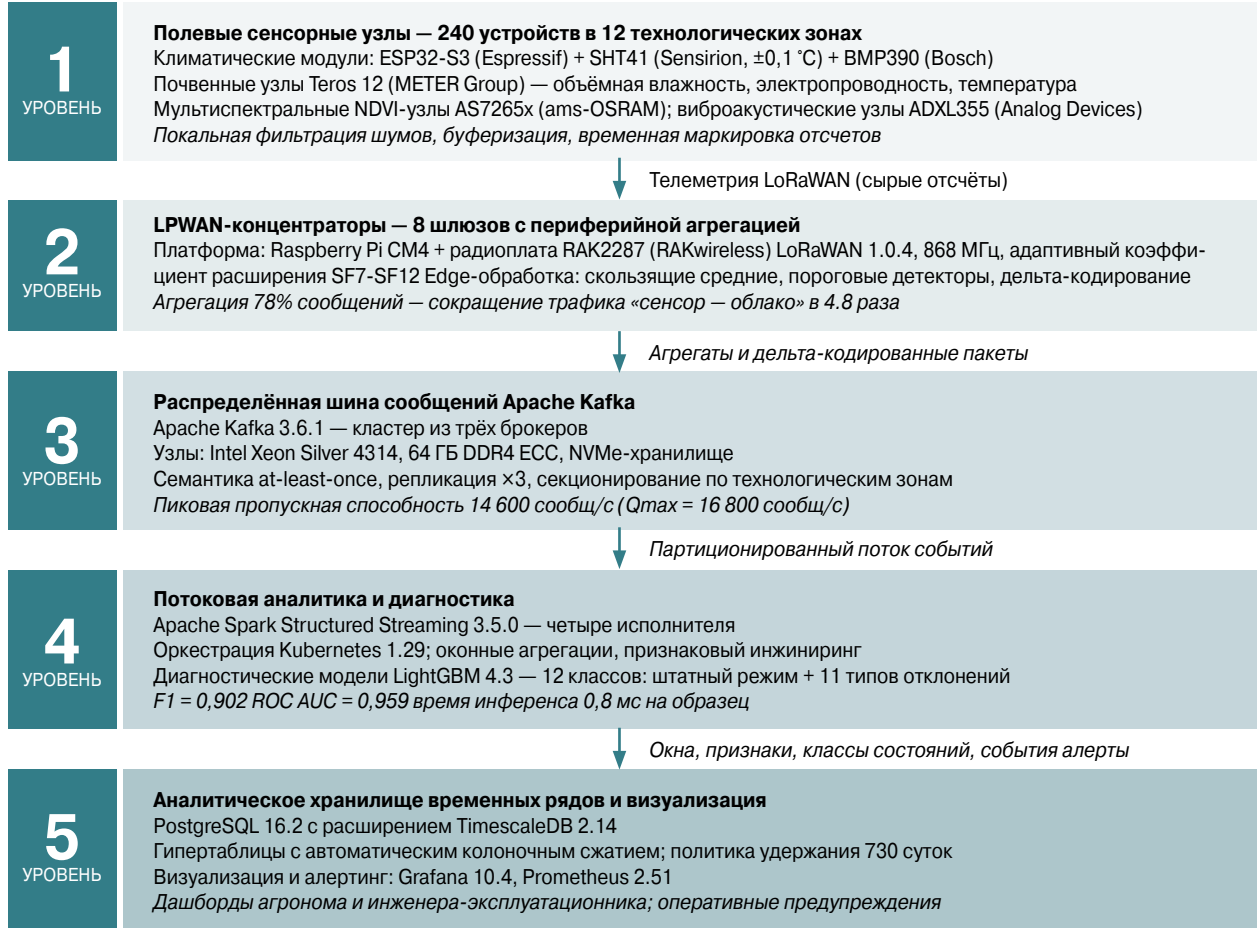
Критерий	Задержка	Пропускная способность	Полнота данных	Точность диагностики	Норм. вес
Задержка	1,00	2,00	3,00	2,00	0,30
Пропускная способность	0,50	1,00	2,00	1,00	0,25
Полнота данных	0,33	0,50	1,00	0,50	0,20
Точность диагностики	0,50	1,00	2,00	1,00	0,25

Примечание: λmax = 4,060; CI = 0,020; RI (n = 4) = 0,90; CR = 0,022 < 0,10 — суждения согласованы. Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Пятиуровневая архитектура программно-аппаратного комплекса обработки больших данных в распределенной системе мониторинга и диагностики технологических параметров сельскохозяйственных объектов. Стрелки соответствуют направлению потока данных от полевого измерения к аналитическому хранилищу.

Fig. 1. Five-tier architecture of the hardware-software complex for big data processing in a distributed monitoring and diagnostic system of technological parameters of agricultural objects. The arrows correspond to the data flow direction from field measurement to the analytical store.

Источник: составлено авторами.



Уровень 1 объединяет 240 полевых узлов, выполняющих локальную фильтрацию шумов и буферизацию отсчетов. Уровень 2 — восемь LPWAN-концентраторов с периферийной агрегацией методом скользящих средних, пороговых детекторов и дельта-кодирования; на этом этапе агрегируется 78% сообщений. Уровень 3 — кластер Apache Kafka из трех брокеров с гарантированной доставкой at-least-once и репликацией $\times 3$. Уровень 4 — потоковый аналитический движок Apache Spark Structured Streaming с оконными агрегациями и диагностическими моделями LightGBM. Уровень 5 — аналитическое хранилище PostgreSQL + TimescaleDB с автоматическим сжатием гипертаблиц и политикой удержания 730 суток. Перенос значительной доли первичной обработки на концентраторы соответствует современным архитектурным рекомендациям для пропускно-ограниченных IoT-сред: гибридные периферийно-облачные конфигурации в смежных доменах сокращают

задержку и сетевую нагрузку при сохранении функциональности облачной аналитики [16]. Интерактивная сборка маршрутов обработки пространственных данных, описанная в [17], в нашей реализации воспроизведена на уровне Spark-DAG: топология вычислительного графа задаётся декларативно и пересобирается без перезапуска кластера.

Сравнительный анализ трех архитектурных паттернов (табл. 2) показал, что универсально лучшего решения не существует. Lambda с параллельными «горячим» и «холодным» путями обеспечила наивысшую пропускную способность, однако удвоенный путь данных приводит к росту медианной задержки и усложнению согласования результатов. Карра с единым потоковым конвейером дала минимальную задержку, но при пиковых нагрузках начинает накапливать lag — это объясняется ограничениями микропакетной модели Spark Structured Streaming, отмеченными в независимых бенчмарках потоковых движков¹. Гибридный периферийно-облачный паттерн занял компромиссную позицию по задержке, превзойдя оба альтернативных решения по полноте данных и трафику.

Серия тестов при разной плотности и частоте опроса для гибридного паттерна (табл. 3) показала практически линейный рост задержки до уровня 14 600 сообщ./с. Контрольный сценарий с отключенной периферийной агрегацией (C5) даёт пятикратный рост потерь и удвоение задержки, что количественно подтверждает обязательность edge-уровня в распределенных агро-системах.

Сравнение восьми моделей машинного обучения на задаче 12-классовой диагностики (табл. 4) показало преимущество ансамблевых древесных методов над линейными моделями и глубокими нейросетями, что для табличной телеметрии умеренного объема соответствует устойчивым наблюдениям литературы. LightGBM выбран для промышленного развёртывания: при $F1 \pm 0,902$ он даёт втрое меньший размер модели, чем Random Forest, и в 3,5 раза меньшее время обучения, что критично для регулярного дообучения на потоке.

Таблица 2. Сравнение архитектурных паттернов на 14-суточном тесте при 240 узлах

Table 2. Comparison of architectural patterns over a 14-day test with 240 nodes

Параметр	Lambda	Kappa	Гибридный
Медианная задержка, мс	178	88	92
Задержка P95, мс	412	246	218
Задержка P99, мс	624	358	304
Пиковая пропускная способность, сообщ./с	16 800	14 000	14 600
Доля потерь при пике, %	0,18	0,42	0,11
Доля периферийной агрегации, %	0	0	78
Трафик «сенсор → облако», ГБ/сут	9,8	9,8	2,0
Загрузка CPU кластера Spark, %	71	58	54
Сложность сопровождения (1–5)	5	3	4
Относительная TCO за 3 года	1,00	0,76	0,84
IQM	0,78	0,81	0,91

Примечание: измерения за 14 суток непрерывной работы при 240 узлах в 12 технологических зонах. TCO нормирована к Lambda. Источник: результаты тестирования авторов. Гибридный паттерн дал лучший интегральный показатель: $IQM \pm 0,91$ против 0,81 у Карра и 0,78 у Lambda. Ключевой эффект — сокращение трафика «сенсор → облако» с 9,8 до 2,0 ГБ/сут (в 4,8 раза) за счёт агрегации 78% сообщений на концентраторах. Статистическая значимость различий медианных задержек между паттернами проверена U-критерием Манна-Уитни на 14-суточных выборках поминутных значений ($N \pm 20$ 160 для каждого паттерна); все попарные сравнения дают $p < 0,001$.

Таблица 3. Производительность гибридного паттерна при разных нагрузках

Table 3. Hybrid pattern performance under different loads

Конфигурация	Узлов	Частота, Гц	Tlat P50, мс	Tlat P99, мс	Q, сообщ./с	Ploss, %	IQM
C1	60	1,0	41	132	60	0,00	0,95
C2	240	1,0	56	178	240	0,01	0,94
C3	240	5,0	78	246	1 200	0,04	0,93
C4	240	10,0	92	304	2 400	0,11	0,91
C5 (без edge)	240	5,0	184	562	1 124	0,52	0,69

Примечание: пиковые значения по Q соответствуют нагрузочным сценариям с генератором, имитирующим всплески активности. Источник: расчёты авторов.

¹ Cheng L. *et al.* Latency goes subsecond in Apache Spark Structured Streaming. Databricks Engineering Blog. 2023. <https://www.databricks.com/blog/latency-goes-subsecond-apache-spark-structured-streaming>

Таблица 4. Метрики моделей на задаче многоклассовой диагностики

Table 4. Model metrics on the multiclass diagnostic task

Модель	Accuracy	F1 (macro)	ROC AUC	Обучение, с	Инференс, мс	Размер, МБ
Logistic Regression	0,812	0,793	0,861	24	0,3	0,2
SVM (RBF)	0,871	0,852	0,914	380	4,5	32,1
Decision Tree	0,886	0,871	0,924	38	0,4	11,4
Random Forest	0,918	0,904	0,961	162	1,5	88,7
XGBoost	0,911	0,898	0,957	118	1,0	38,2
LightGBM	0,913	0,902	0,959	84	0,8	26,5
CNN 1D (6 слоёв)	0,892	0,876	0,941	2 940	3,1	68,4
LSTM (128 ячеек)	0,886	0,870	0,936	5 210	6,8	109,8

Примечание: 480 тыс. окон, пятикратная стратифицированная кросс-валидация, метрики макро-усреднены.
Источник: результаты тестирования авторов.

Выводы/Conclusions

Разработана пятиуровневая архитектура программно-аппаратного комплекса обработки больших данных в распределенных системах мониторинга и диагностики технологических параметров сельскохозяйственных объектов, объединяющая полевые сенсоры, LPWAN-концентраторы, шину Apache Kafka, потоковый движок Apache Spark Structured Streaming и аналитическое хранилище PostgreSQL с расширением TimescaleDB. Экспериментально установлено преимущество гибридного периферийно-облачного паттерна над Lambda и Карра по интегральному индексу качества мониторинга: IQM $\pm 0,91$ против 0,78 и 0,81 соответственно. Различия медианных задержек между всеми тремя паттернами статистически значимы по критерию Манна–Уитни при $\alpha \pm 0,05$ ($p < 0,001$). Карра обеспечивает несколько меньшую медианную задержку, однако уступает гибриднему решению по полноте данных и трафику; для задач реального управления приводами предпочтителен Карра, для распределенных хозяйств с ограниченным каналом связи — гибридный паттерн. Количественно подтверждена обязательность периферийной агрегации: её отключение

при сопоставимой генерации увеличивает медианную задержку в 2,4 раза, а потери — в 4,7 раза. Гибридный паттерн обеспечил сокращение трафика «сенсор → облако» в 4,8 раза за счет обработки 78% сообщений на уровне концентраторов. Обоснована методика расчёта индекса IQM с весами, полученными методом анализа иерархий на согласованных экспертных суждениях ($CR \pm 0,022 < 0,10$). По результатам сравнения восьми моделей для многоклассовой диагностики выбран LightGBM как модель с наилучшим соотношением качества ($F1 \pm 0,902$) и ресурсоёмкости (26,5 МБ, 0,8 мс/образец). Достоверность диагностических метрик обеспечена методикой двойного независимого кодирования пятью экспертами с арбитражем (κ Коэна $\pm 0,87$).

Практическая значимость: предложенная архитектура готова к промышленному внедрению на агропромышленных объектах с типовой конфигурацией от 100 до 500 сенсорных узлов. Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией федеративного обучения на уровне концентраторов и расширением аналитического слоя средствами потоковой обработки геопространственных данных с БПЛА.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Работа выполнена за счёт гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ

FUNDING:

The research was carried out at the expense of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to educational institutions of higher education, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of encouraging their scientific and scientific-pedagogical employees to defend doctoral dissertations and carry out research work

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вострухин А.В., Мастепаненко М.А., Воротников И.Н., Вахтина Е.А. Алгоритм разработки программного обеспечения беспроводной системы мониторинга температуры сельскохозяйственных объектов. *Агроинженерия*. 2025; 27(1): 75–81. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-75-81>
2. Каличкин В.К., Донченко А.С., Голохваст К.С. Платформенный подход к обработке данных мониторинга и полевых опытов СФНЦА РАН для реализации цифрового земледелия. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2025; 55(11): 5–21. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-11-1>
3. Савин И.Ю., Блохин Ю.И., Чинилин А.В. Методология оперативного мониторинга состояния посевов на основе технологий интернета вещей. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023; (6): 43–46. <https://doi.org/10.31857/S2500262723060091>

REFERENCES

1. Vostrokhin A.V., Mastepanenko M.A., Vorotnikov I.N., Vakhtina E.A. Algorithm of software development for a wireless system monitoring the temperature of agricultural premises. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025; 27(1): 75–81 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-75-81>
2. Kalichkin V.K., Donchenko A.S., Golokhvast K.S. A platform-based approach to processing SFSCA RAS monitoring and field experiments data for the implementation of digital agriculture. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2025; 55(11): 5–21 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-11-1>
3. Savin I.Yu., Blokhin Yu.I., Chinilin A.V. Methodology of operational monitoring of crop status based on the internet of things technologies. *Russian Agricultural Sciences*. 2023; (6): 43–46 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500262723060091>

4. Цепляев В.А., Цепляев А.Н., Лебедь Н.И., Токарев К.Е. Моделирование и аппаратно-программная реализация автоматизированной системы мониторинга сорной растительности в посевах сельскохозяйственных культур и управление дифференцированным внесением гербицидов. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2024; (5): 302–311. EDN CPIOFR
5. Федосеев Д.В. и др. Разработка информационной системы для хранения и обработки результатов мониторинга сельскохозяйственных угодий юга Дальнего Востока. *Системы и средства информатики*. 2024; 34(1): 44–56. <https://doi.org/10.14357/08696527240104>
6. Костомакхин М.Н., Пестряков Е.В. Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(4): 19–25. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25>
7. Лебедь Н.И., Токарев К.Е., Фомин С.Д. Проектирование и компьютерная реализация комплекса программ для интеллектуального мониторинга роста и развития агробиocenозов в условиях их контролируемого выращивания. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023; (4): 38–49. EDN HXP KU
8. Кутырёв А.И. Разработка системы мониторинга стволов деревьев и опорных конструкций интенсивных садовых насаждений. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2025; (2): 449–458. EDN IMG AHX
9. Сердечная Ю.Н., Сердечный Д.В., Андриянов Н.А., Корчагин С.А. Разработка эффективной системы мониторинга и анализа современных технологий развития агропромышленного комплекса в горных территориях. Устойчивое развитие горных территорий. 2024; 16(2): 770–779. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-2-770-779>
10. Zorkin A., Ivanova N. IoT-based agriculture monitoring platform architecture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012005>
11. Kalyani Y., Collier R. A Systematic Survey on the Role of Cloud, Fog, and Edge Computing Combination in Smart Agriculture. *Sensors*. 2021; 21(17): 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>
12. Пестряков Е.В. Программное обеспечение для диагностирования и прогнозирования технического состояния сельскохозяйственных машин. *Техника и оборудование для села*. 2021; (12): 37–41. EDN NUTMPU
13. Aldaheri L. et al. LoRa Communication for Agriculture 4.0: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *arXiv*. 2024; 2409.11200. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.11200>
14. Mohammad M. Analysis of Design Patterns and Benchmark Practices in Apache Kafka Event-Streaming Systems. *2025 5th International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA)*. IEEE. 2025; 612–617. <https://doi.org/10.1109/ICICyTA68677.2025.11362748>
15. Liu R., Yuan J., Huang X. Benchmarking Time Series Databases with IoTDB-Benchmark for IoT Scenarios. *arXiv*. 2019; 1901.08304. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.08304>
16. Islam U., Alatawi M.N., Alqazzaz A., Alamro S., Shah B., Moreira F. A hybrid fog-edge computing architecture for real-time health monitoring in IoMT systems with optimized latency and threat resilience. *Scientific Reports*. 2025; 15: 25655. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09696-3>
17. Брежнев Р.В., Маглинец Ю.А., Хорошева Н.С., Раевич К.В. Интерактивная технология формирования рабочих потоков обработки пространственных данных. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2024; 21(2): 89–100. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-2-89-100>
4. Tseplyaev V.A., Tseplyaev A.N., Lebed N.I., Tokarev K.E. Modeling and hardware-software implementation of an automated system for monitoring weeds in agricultural crops and managing variable-rate herbicide application. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2024; (5): 302–311 (in Russian). EDN CPIOFR
5. Fedoseev D.V. et al. Development of information system for storing and processing the results of agricultural land monitoring in the south of the Far East. *Systems and Means of Informatics*. 2024; 34(1): 44–56 (in Russian). <https://doi.org/10.14357/08696527240104>
6. Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V. Software Package for Remote Diagnostics of Agricultural Machinery Condition. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(4): 19–25 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25>
7. Lebed N.I., Tokarev K.E., Fomin S.D. Design and computer implementation complex of programs for intellectual monitoring the growth and development of agrobiocenoses under conditions of their controlled cultivation. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2023; (4): 38–49 (in Russian). EDN HXP KU
8. Kutyrev A.I. The development of the monitoring system for tree trunks and supporting structures of the intensive horticulture plantings. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2025; (2): 449–458 (in Russian). EDN IMG AHX
9. Serdechnaya Yu.N., Serdechnyy D.V., Andriyanov N.A., Korchagin S.A. Development of an effective monitoring and analysis system of modern technologies for the agro-industrial complex development in mountainous areas. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024; 16(2): 770–779 (in Russian). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-2-770-779>
10. Zorkin A., Ivanova N. IoT-based agriculture monitoring platform architecture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012005>
11. Kalyani Y., Collier R. A Systematic Survey on the Role of Cloud, Fog, and Edge Computing Combination in Smart Agriculture. *Sensors*. 2021; 21(17): 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>
12. Pestryakov E.V. Software for diagnosing and predicting the technical condition of agricultural machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021; (12): 37–41 (in Russian). EDN NUTMPU
13. Aldaheri L. et al. LoRa Communication for Agriculture 4.0: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *arXiv*. 2024; 2409.11200. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.11200>
14. Mohammad M. Analysis of Design Patterns and Benchmark Practices in Apache Kafka Event-Streaming Systems. *2025 5th International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA)*. IEEE. 2025; 612–617. <https://doi.org/10.1109/ICICyTA68677.2025.11362748>
15. Liu R., Yuan J., Huang X. Benchmarking Time Series Databases with IoTDB-Benchmark for IoT Scenarios. *arXiv*. 2019; 1901.08304. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.08304>
16. Islam U., Alatawi M.N., Alqazzaz A., Alamro S., Shah B., Moreira F. A hybrid fog-edge computing architecture for real-time health monitoring in IoMT systems with optimized latency and threat resilience. *Scientific Reports*. 2025; 15: 25655. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09696-3>
17. Brezhnev R.V., Maglinets Yu.A., Khorosheva N.S., Raevich K.V. Interactive technology for the generation of spatial data processing workflows. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2024; 21(2): 89–100 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-2-89-100>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Рамил Рифатович Гибадуллин

кандидат технических наук
torianin@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4134-9480>

Ольга Дмитриевна Семенова

преподаватель
ollivka@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-9282-3259>

Казанский государственный энергетический университет,
ул. Красносельская, 51, Казань, 420066, Россия

AUTHORS' INFORMATION

Ramil Rifatovich Gibadullin

Candidate of Engineering Sciences
torianin@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4134-9480>

Olga Dmitrievna Semenova

Lector
ollivka@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-9282-3259>

Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya st., Kazan, 420066, Russia

УДК 378.147:004.6:63

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-179-185

А.Н. Кохичко

Мурманский арктический
университет, Мурманск, Россия

✉ andrey_kokhichko@mail.ru

Поступила в редакцию: 20.04.2026

Одобрена после рецензирования: 23.05.2026

Принята к публикации: 06.06.2026

© Кохичко А.Н.

Формирование у обучающихся компетенций работы с технологиями больших данных в контексте информатизации агропромышленного комплекса: модель и опытно-экспериментальная работа

РЕЗЮМЕ

Цель исследования — разработать педагогическую модель формирования компетенций работы с технологиями больших данных у обучающихся аграрных направлений и экспериментально проверить ее результативность в условиях цифровой трансформации агропромышленного комплекса. Двухгодичный лонгитюдный педагогический эксперимент (2023–2025 гг.) с участием 156 студентов Мурманского арктического университета (контрольная и экспериментальная группы по 78 человек). Модель включала четыре компонента: когнитивный, операционально-деятельностный, мотивационно-ценностный и рефлексивно-оценочный. Экспериментальная группа осваивала модульный курс «Большие данные в цифровом АПК» (72 ч), практикум на отраслевых датасетах с пропусками до 18 % (36 ч) и проекты на базе агрохолдингов (48 ч). Статистическая обработка — критерии χ^2 Пирсона, Манна–Уитни, корреляция Спирмена. Доля студентов с высоким интегральным уровнем компетенции в экспериментальной группе возросла с 7,7% до 47,4% (в контрольной — с 7,7% до 17,9%). Различия статистически значимы: $\chi^2 = 22,14$ при $\chi^2_{\text{крит}} = 9,21$ ($p \leq 0,01$, $df = 2$). Наибольший прирост зафиксирован по операционально-деятельностному компоненту (+25,5 балла), наименьший — по мотивационно-ценностному (+13,5 балла). Коэффициенты ранговой корреляции между компонентами составили $\rho = 0,62–0,74$, что подтверждает системную целостность компетенции. Предложенная четырехкомпонентная модель статистически значимо превосходит традиционный подход к формированию цифровых компетенций аграрных специалистов. Модель рекомендуется к многоцентровой апробации в иных федеральных округах.

Ключевые слова: большие данные в АПК, информатизация сельского хозяйства, цифровые компетенции, педагогическая модель, опытно-экспериментальная работа, аграрное образование, критерий χ^2 Пирсона

Для цитирования: Кохичко А.Н. Формирование у обучающихся компетенций работы с технологиями больших данных в контексте информатизации агропромышленного комплекса: модель и опытно-экспериментальная работа. *Аграрная наука*. 2026; 407(06): 179–185.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-179-185>

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-179-185

Andrey N. Kokhichko

Murmansk Arctic University,
Murmansk, Russia

✉ andrey_kokhichko@mail.ru

Received by the editorial office: 20.04.2026

Accepted in revised: 23.05.2026

Accepted for publication: 06.06.2026

© Kokhichko A.N.

Developing big data competencies in learners within the context of agro-industrial complex informatization: a model and experimental work

ABSTRACT

The objective of the study was to develop a pedagogical model for developing big data technology competencies in students majoring in agriculture and to experimentally test its effectiveness in the context of the digital transformation of the agro-industrial complex. The study involved a two-year longitudinal pedagogical experiment (2023–2025) involving 156 students from Murmansk Arctic University (control and experimental groups of 78 students each). The model included four components: cognitive, operational-activity, motivational-value, and reflective-evaluative. The experimental group completed a modular course entitled «Big Data in the Digital Agro-Industrial Complex» (72 hours), a practical course on industry datasets with up to 18% omissions (36 hours), and projects based on agricultural holdings (48 hours). Statistical analysis included Pearson's χ^2 test, Mann–Whitney test, and Spearman correlation. The proportion of students with a high integrated competency level in the experimental group increased from 7.7% to 47.4% (in the control group, from 7.7% to 17.9%). The differences are statistically significant: $\chi^2 = 22.14$ with $\chi^2_{\text{crit}} = 9.21$ ($p \leq 0.01$, $df = 2$). The greatest increase was recorded for the operational-activity component (+25.5 points), and the smallest for the motivational-value component (+13.5 points). The rank correlation coefficients between the components were $\rho = 0.62–0.74$, confirming the systemic integrity of the competency. The proposed four-component model statistically significantly outperforms the traditional approach to developing digital competencies in agricultural specialists. The model is recommended for multi-center testing in other federal districts.

Key words: big data in agriculture, agricultural informatization, digital competencies, pedagogical model, experimental work, agricultural education, Pearson's χ^2 test

For citation: Kokhichko A.N. Developing big data competencies in learners within the context of agro-industrial complex informatization: a model and experimental work. *Agrarian science*. 2026; 407(06): 179–185 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-179-185>

Введение/Introduction

Цифровизация сельского хозяйства в России расширяется, но по охвату производственных процессов все еще заметно отстает от стран-лидеров; без подготовленных кадров эффект внедряемых решений остается ограниченным [1, 2]. Одновременно растет круг задач, требующих работы с большими массивами данных: прогноз урожайности по мультиспектральным снимкам, распознавание болезней растений, управление стадом по сенсорным данным, оптимизация логистики — все это становится частью повседневной работы агронома, зоотехника и менеджера хозяйства [3]. Цифровая компетентность превратилась из дополнительной квалификации в условие конкурентоспособности специалиста на рынке труда АПК [4].

Большие данные в сельском хозяйстве оформились в самостоятельный предмет изучения. Обзорные работы описывают их как аналитическую среду в управлении растениеводством [5, 6] и в точном земледелии на базе IoT-сенсоров [7, 8], а также фиксируют характерный для отрасли набор возможностей и затруднений: масштаб, неоднородность источников (сенсорные сети, БПЛА, спутниковые платформы, корпоративные системы), вопросы качества и интеграции данных и др. [9–11].

От выпускника требуется не отдельный навык, а способность пройти полный цикл работы с такими массивами — от сбора и очистки до моделирования и интерпретации результатов в производственных терминах.

В литературе по подготовке к работе с данными выделяются несколько направлений. Изучается влияние насыщенной данными среды на учебный процесс и пересборку методик [12]; обосновывается необходимость прохождения студентом полного исследовательского цикла, а не отдельных операций [13]; ставится вопрос о выборе инструментов исходя из типологии задач, а не из текущей моды на технологии [14]. Отдельно рассматриваются групповые форматы как условие развития гибких компетенций исследования и анализа данных [15], а также формирование дата-грамотности в онлайн-формате [16]. Отраслевая специфика АПК в этих работах либо не выделяется, либо затрагивается фрагментарно: модель, охватывающая компетенцию целиком — знание, умение, мотив, рефлексию — на аграрной выборке до сих пор не проверялась.

Отсюда — научная проблема. Эмпирически: спрос АПК на специалистов, работающих с большими данными, не покрывается выпуском [4, 17]. Теоретически: общецифровые курсы не обеспечивают

переноса в агрономический и зоотехнический контекст, а инструментальные курсы лишены концептуального ядра и рефлексивной составляющей. Незаполненная ниша — четырехкомпонентная модель (когнитивный, операционно-деятельностный, мотивационно-ценностный, рефлексивно-оценочный компоненты) с согласованной диагностикой, проверенная на студентах аграрных направлений.

Цель работы — построить такую модель и проверить ее результативность в контролируемом эксперименте. Гипотеза: обучение, выстроенное вокруг отраслевого модульного курса, практикума на реальных датасетах и регулярной рефлексии в портфолио, по интегральному уровню статистически значимо превосходит традиционный процесс подготовки.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Педагогический эксперимент лонгитюдного типа охватывал два учебных года (сентябрь 2023 — июнь 2025) и опирался на системно-деятельностный, компетентностный и субъектно-ориентированный подходы. Базой послужил Мурманский арктический университет с привлечением обучающихся аграрных партнерских вузов Северо-Западного федерального округа. Выборка — 156 студентов программ бакалавриата (агрономия, зоотехния, технология производства и переработки сельхозпродукции, менеджмент в агропромышленном комплексе) и профессиональной переподготовки: контрольная (78) и экспериментальная (78) группы. Проверка однородности по критерию χ^2 Пирсона не выявила значимых различий ($p > 0,05$). Отсева участников за период эксперимента не зафиксировано, все участники дали письменное информированное согласие на участие в эксперименте и обработку персональных данных.

Компетенция операционализована через четыре компонента:

1) когнитивный оценивался авторским тестом из 40 заданий (коэффициент альфа Кронбаха = 0,83);

2) операционно-деятельностный — тремя кейсами на открытых датасетах (продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, российские агрометеорологические ряды, данные партнерских хозяйств), согласованность двух экспертов по коэффициенту каппа Коэна = 0,78;

3) мотивационно-ценностный — адаптированным опросником на основе методики А. А. Реана и В. А. Якунина¹;

4) рефлексивно-оценочный — картой самооценки и рефлексивными эссе. Интегральный

¹ Реан А. А. Психология педагогической деятельности. — Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1994; Якунин В. А. Психология учебной деятельности студентов. — М.; СПб.: Логос, 1994. Стандартизированный вариант опросника см.: Бадмаева Н. Ц. Влияние мотивационного фактора на развитие умственных способностей: монография. — Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. — 280 с. Адаптация для настоящего исследования включала добавление 8 пунктов, отражающих мотивы работы с цифровыми технологиями в агропромышленном комплексе; внутренняя согласованность адаптированной шкалы — коэффициент альфа Кронбаха = 0,79.

уровень — взвешенная свертка при весах 0,30 / 0,35 / 0,20 / 0,15.²

Для определения весов четырех компонентов компетенции (когнитивный, операционально-деятельностный, мотивационно-ценностный, рефлексивно-оценочный) был привлечен экспертный совет из 7 человек: докторов и кандидатов педагогических наук, профессоров кафедр педагогики и цифрового образования, имеющих опыт реализации образовательных программ в аграрных вузах. Эксперты провели попарное сравнение компонентов с последующим расчетом весов по методу Саати³.

Эксперимент включал три этапа: 1) констатирующий (сентябрь 2023) — входная диагностика исходного уровня компетенции и проверка однородности контрольной и экспериментальной групп; 2) формирующий (октябрь 2023 — апрель 2025) — реализация педагогической модели в экспериментальной группе; 3) контрольный (июнь 2025) — итоговая диагностика и статистическая проверка значимости различий между группами. Формирующий этап в экспериментальной группе включал модульный курс «Большие данные в цифровом агропромышленном комплексе» (72 часа), практикум (36 часов), проектную деятельность с агропредприятиями, рефлексию в цифровом портфолио. Контрольная группа занималась в традиционном формате. Статистическая обработка данных — IBM SPSS Statistics 27 (IBM Corp., Армонк, штат Нью-Йорк, США): критерий χ^2 Пирсона (число степеней свободы = 2), критерий Манна-Уитни, коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Ограничения исследования: региональная локализация выборки в пределах Северо-Западного федерального округа; зависимость формирующего этапа от партнерства с конкретными

агрохолдингами; отсутствие двойного слепого контроля эффекта преподавателя. Эти ограничения учтены при интерпретации результатов.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Структурно-содержательная архитектура компетенции представлена в таблице 1 (табл. 1).

Понятие «большие данные в агропромышленном комплексе» раскрывается через V-характеристики — объем, скорость, разнообразие, достоверность [9], однако для будущего специалиста эти знания должны быть встроены в производственные ситуации — от интерпретации мультиспектральных снимков поля до оценки рациона по данным датчиков.

Педагогическая модель формирования компетенции работы с большими данными у студентов аграрных направлений построена как замкнутая система из четырех подсистем. Целевая подсистема задает ориентир — высокий уровень интегральной компетенции по четырем компонентам (когнитивный, операционально-деятельностный, мотивационно-ценностный, рефлексивно-оценочный) с весами 0,30 / 0,35 / 0,20 / 0,15 на основе системно-деятельностного, компетентностного и субъектно-ориентированного подходов. Содержательная подсистема — междисциплинарный модуль «Большие данные в цифровом АПК» (72 часа) из семи блоков: V-характеристики, архитектуры хранения (Hadoop, Spark, облака), машинное обучение для урожайности и болезней растений, ГИС в точном земледелии, данные сенсорных сетей и БПЛА, нормативно-правовые и этические основы; каждый блок разбирается на материале растениеводства, зоотехнии или агрологистики. Процессуальная подсистема — три линии: теоретический

Таблица 1. Структурно-содержательная характеристика компетенции работы с технологиями больших данных у обучающихся по направлениям агропромышленного комплекса

Table 1. Structural and content characteristics of the big data technology competency among students in agricultural fields

Компонент	Содержательное наполнение	Диагностический инструмент	Вес
Когнитивный	Концепции больших данных; архитектуры хранения и обработки; инструменты (Hadoop, Spark, Python/R, геоинформационные системы); применение в растениеводстве, животноводстве, логистике	Авторский тест из 40 заданий; коэффициент альфа Кронбаха = 0,83	0,30
Операционально-деятельностный	Работа с датасетами (очистка, преобразование, визуализация); алгоритмы машинного обучения; облачные платформы; построение дашбордов	Три практико-ориентированных кейса; коэффициент каппа Коэна = 0,78	0,35
Мотивационно-ценностный	Осознание значимости больших данных для агропромышленного комплекса; интерес к аналитической работе; готовность к профессиональному развитию	Адаптированный опросник на основе методики А. А. Реана — В. А. Якунина	0,20
Рефлексивно-оценочный	Критическая оценка результатов анализа; осознание дефицитов; корректировка траектории обучения	Карта самооценки и рефлексивные эссе	0,15

Примечание. Веса компонентов назначены экспертным методом. Источник: составлено автором.

² Педагогическая модель задана кортежем $M = \langle C, R, W, \Phi \rangle$, где $C = \{C_{\text{cog}}, C_{\text{oper}}, C_{\text{mot}}, C_{\text{refl}}\}$ — множество компонентов компетенции; $R \subset C \times C$ — отношения влияния между компонентами (например, $C_{\text{cog}} \rightarrow C_{\text{oper}}$ с силой $\rho = 0,74$ по коэффициенту Спирмена); $W = \{0,30; 0,35; 0,20; 0,15\}$ — вектор весов компонентов, назначенных экспертным методом; $\Phi: R^4 \rightarrow R$ — функция интегрального уровня сформированности компетенции: $L_{\text{int}} = \sum_i w_i \cdot f_i(x_i)$, где f_i — логистическая нормализация сырых баллов x_i по i -му компоненту к диапазону $[0; 100]$. Веса валидированы методом ранговых согласий экспертного жюри ($n = 7$, коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,81$, $p < 0,01$).

³ Метод анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process). См.: Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с. (ориг. изд.: Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980).

модуль (16 занятий), практикум (36 часов, 9 лабораторных по 4 часа) как полный цикл анализа от вопроса и импорта сырых данных с пропусками 3–18% до дашборда и интерпретации для ЛПР, проектная линия (48 ч) — команды из 3–4 человек доводят реальную задачу агрохолдинга до прототипа с презентацией заказчику; параллельно ведется цифровое портфолио с рефлексивными эссе, проверяемое дважды в семестр. Диагностико-результативная подсистема — авторский тест из 40 заданий (α Кронбаха = 0,83), три кейса с экспертной оценкой (κ Козна = 0,78), опросник мотивации, карта самооценки и эссе; интегральная свертка через функцию Φ с логистической нормализацией к [0; 100]. Модель задается кортежем $M = (C, R, W, \Phi)$, связи R уточняются по корреляции Спирмена. Условия воспроизводимости — партнерское агропредприятие, вычислительный класс (1 место на 1–2 студентов), минимум два преподавателя, не менее 156 аудиторных часов в год.

На констатирующем срезе (сентябрь 2023) около 60% студентов в обеих группах показали низкий уровень компетенции; группы статистически однородны ($\chi^2_{\text{эмп}} = 0,11$ при $\chi^2_{\text{крит}} = 5,99$, $p \leq 0,05$). Мотивационный компонент стартовал выше остальных (около 16% высокого уровня), тогда как когнитивный (≈ 42 –43 балла) и операционно-деятельностный (≈ 34 –35 баллов) — заметно ниже: внешний интерес к цифровой повестке не подкреплён ни знаниями, ни прикладными умениями.

Формирующая работа в ЭГ велась на «грязных» отраслевых датасетах: пропуски 3–18%, противоречия в единицах измерения, дубликаты, ошибки типизации. Такой материал воспроизводит характерные для агрономических больших

данных проблемы качества и неоднородности, которые в обзорной литературе отмечаются как одно из ключевых затруднений отраслевой аналитики [9]. Студенты проходили полный цикл: формулировка вопроса, импорт сырых данных, очистка, моделирование (линейная регрессия, случайный лес, градиентный бустинг), валидация, визуализация в дашборде. Проектная линия работала на реальных задачах агрохолдингов СЗФО: оптимизация удобрений по мультиспектральным данным, прогноз надоев по датчикам активности коров, маршрутизация зерновозов по бортовой телеметрии. КГ обучалась по действующему плану — без отраслевых датасетов и проектов.

Динамика средних баллов по четырем компонентам на констатирующем и контрольном срезах представлена на рисунке 1 (рис. 1).

Исходные значения в обеих группах были в коридоре 34,4–49,2 балла без значимых различий, что подтверждает однородность выборки. За два года контрольная группа показала умеренный прирост (+12,2 по когнитивному, +14,0 по операционно-деятельностному, +10,4 по мотивационно-ценностному, +11,5 по рефлексивно-оценочному), объяснимый созреванием и общей цифровизацией образовательной среды.

Экспериментальная группа дала прирост 22,6–40,2 балла, причем максимум — по операционно-деятельностному компоненту, который невозможно сформировать без работы с реальными датасетами и отраслевыми задачами. Эффект модели неравномерен: наибольшее превосходство ЭГ — там, где нужны прикладные умения, а по мотивационно-ценностному компоненту разрыв меньше, поскольку мотивация формируется и в традиционном процессе под влиянием отраслевой повестки. Сравнительные результаты сведены в таблицу 2 (табл. 2).

Различия в интегральных баллах статистически значимы по U Манна-Уитни ($U = 1428,5$, $p < 0,001$). Наиболее выражен разрыв по операционно-деятельностному компоненту (+25,5 балла, $\chi^2_{\text{эмп}} = 24,57$); наименее — по мотивационно-ценностному (+13,5 балла), что логично: мотивационная готовность формируется в обеих группах под влиянием отраслевой повестки, а прикладные умения без целенаправленной работы не складываются. Коэффициенты корреляции Спирмена 0,62–0,74 указывают на системную взаимосвязь компонентов; особенно сильна связь когнитивного и операционно-деятельностного ($p = 0,74$).

Полученные результаты соотносятся с рядом работ по подготовке специалистов к работе с данными [17–22].

Рис. 1. Динамика компонентов компетенции работы с технологиями больших данных в контрольной и экспериментальной группах (средний балл по шкале 0–100, сентябрь 2023 — июнь 2025).

Fig. 1. Dynamics of big data competency components in control and experimental groups (mean score on a 0–100 scale, September 2023 — June 2025).

Примечание. Исходные значения на констатирующем срезе не различаются статистически значимо между группами ($\chi^2_{\text{эмпирическое}} = 0,11$ при $\chi^2_{\text{критическом}} = 5,99$, $p \leq 0,05$). По всем четырем компонентам на контрольном срезе зафиксированы статистически значимые различия в пользу экспериментальной группы (см. таблицу 2). Источник: собственное исследование автора.

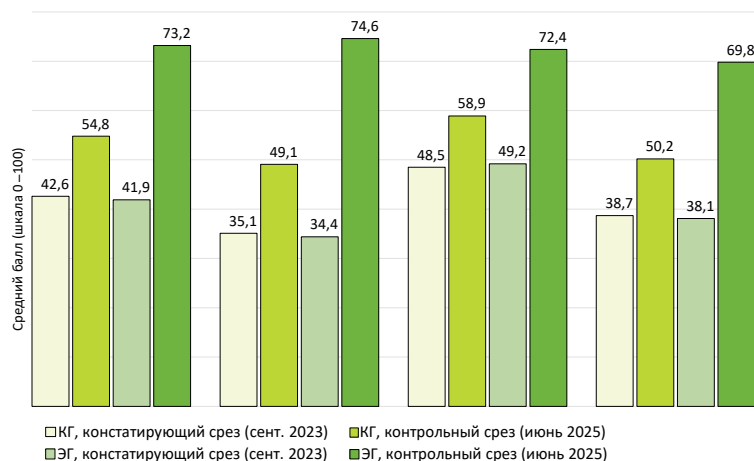


Таблица 2. Сравнительные результаты контрольного этапа эксперимента в контрольной и экспериментальной группах (июнь 2025 г.) и статистическая проверка различий

Table 2. Comparative results at the control stage in CG and EG (June 2025) and statistical significance testing

Компонент / показатель	Контрольная группа (n = 78), средний балл	Экспериментальная группа (n = 78), средний балл	Разность, баллы	Вывод на уровне $p \leq 0,01$ (χ^2 критическое = 9,21)
Когнитивный	54,8	73,2	+18,4	Значимо
Операционально-деятельностный	49,1	74,6	+25,5	Значимо
Мотивационно-ценностный	58,9	72,4	+13,5	Значимо
Рефлексивно-оценочный	50,2	69,8	+19,6	Значимо
Интегральный уровень	52,8	73,2	+20,4	Значимо
Доля высокого уровня (интегральный)	17,9 % (14 чел.)	47,4 % (37 чел.)	+29,5 п.п.	—
Доля низкого уровня (интегральный)	30,8 % (24 чел.)	10,3 % (8 чел.)	-20,5 п.п.	—
Критерий Манна-Уитни (интегральный балл)	—	—	—	Значимо
Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (между компонентами, экспериментальная группа)	—	—	—	Умеренно-сильная связь

Примечание. Эмпирические значения χ^2 превышают критическое, что подтверждает статистически значимые различия между группами. Источник: собственное исследование автора.

А.И. Галкин показывает, что без кадровой инфраструктуры потенциал больших данных в АПК реализуется лишь частично [17]; рост доли студентов с высоким уровнем компетенции с 7,7% до 47,4% за два года показывает, что отраслевая образовательная программа способна закрывать этот разрыв. О.А. Фиофанова с соавторами обосновывают необходимость единого цикла теории и практики при формировании аналитических компетенций [19]; в эксперименте максимальная корреляция между когнитивным и операционально-деятельностным компонентами ($\rho = 0,74$) количественно подтверждает этот тезис. С.В. Калмыкова на материале информационно-аналитических компетенций магистрантов показывает, что разведение когнитивной и деятельностной составляющих по разным курсам снижает переносимость компетенции в профессиональную практику [22]; в предложенной модели эти линии идут параллельно, что согласуется с ее рекомендациями.

Е.Н. Бакурова и Т.А. Паршуткина отмечают встроенность иноязычной информационной компетенции в цифровую культуру аграрного специалиста: основная отраслевая документация и значительная часть открытых датасетов публикуются на английском [20]. Это объясняет, почему англоязычные отраслевые кейсы в практикуме давали более устойчивый прирост операционально-деятельностного компонента, чем переведенные учебные материалы. Умеренный прирост мотивационно-ценностного компонента согласуется с выводами Н.И. Попова и Е.А. Каневой о том, что познавательный интерес к цифровым дисциплинам формируется во многом вне формального обучения — через медиасреду и отраслевые информационные поводы [17]. О.А. Денисова, описывая возможности больших данных для оценки качества образовательной среды, фиксирует ту же закономерность: внешне заданная мотивация может расходиться с реальной вовлеченностью в работу с данными [20].

Структура распределения приростов отличается от типичной для общецифровых курсов.

Обычно максимум дает мотивационный или колаборативный компонент, а прикладные умения растут умеренно из-за ограниченного доступа к производственным данным. В нашем случае картина обратная, и это прямое следствие двух решений: партнерства с агрохолдингами, через которое студенты работают с данными реальных IoT-систем точного земледелия, описанных в обзорной литературе как один из главных источников отраслевых больших массивов [7]; и работы на «грязных» датасетах, отражающих характерные для агрономических больших данных проблемы качества, неоднородности и интеграции [9].

Выводы/Conclusions

Доля студентов с высоким уровнем компетенции в экспериментальной группе выросла с 7,7 до 47,4% (более чем в шесть раз), в контрольной — с 7,7 до 17,9%. Разрыв в 29,5 пункта исключает объяснение созреванием или пассивным усвоением цифровой повестки; результат воспроизвелся на двух когортах (выпуски 2024 и 2025 годов), что подтверждает его устойчивость.

Наибольший прирост среднего балла зафиксирован по операционально-деятельностному компоненту — на 25,5 пункта (с 49,1 до 74,6). Ценностная готовность у современных студентов формируется вне вуза — медиасредой и соцсетями, — а прикладные умения требуют методически выстроенной работы. Согласованная динамика компонентов (ρ Спирмена 0,62–0,74) подтверждает их системную взаимозависимость: компетенция — взаимно усиливающее единство знаний, умений, мотивов и рефлексии, а не их сумма.

Прямая экстраполяция с выборки одного вуза на всю систему аграрного образования России методологически некорректна из-за ограниченной внешней валидности (эффект преподавателя, специфика связей вуза с агропредприятиями СЗФО, селекционные характеристики выборки). Модель может быть рекомендована к многоцентровой апробации в разных федеральных округах с региональным и отраслевым замещением

кейсов при сохранении структуры подсистем и весов свертки.

Модель — кортеж $M = \langle C, R, W, \Phi \rangle$ с четырьмя подсистемами (целевой, содержательной, процессуальной, диагностико-результативной) и тремя процессуальными линиями (теория 72 ч, практикум 36 ч на отраслевых датасетах, проектная линия 48 ч с реальными задачами агрохолдингов) — рекомендуется к тиражированию при трех условиях: партнерские агропредприятия с

производственными датасетами и проектными командами; вычислительная инфраструктура из расчета одно место на 1–2 студентов; не менее 156 аудиторных часов в год. Региональная и отраслевая адаптация достигается заменой кейсов и партнеров без изменения структуры подсистем и весов свертки. Перспектива — изучение долгосрочной устойчивости компетенции (через 1–2 года после выпуска) и расширение модели на ДПО для действующих специалистов АПК.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Чутчева Ю.В. Цифровая трансформация сельского хозяйства: от теории к практике. *Russian Journal of Management*. 2024; 12(4): 113–123. <https://doi.org/10.29039/2500-1469-2024-12-4-113-123>
- Субаева А.К., Александрова Н.Р. Государственная поддержка цифровизации сельского хозяйства. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022; (4): 130–135. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-130-135>
- Скворцов Е.А., Набоков В.И., Некрасов К.В., Скворцова Е.Г., Кротов М.И. Применение технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве. *Аграрный вестник Урала*. 2019; (8): 91–98. https://doi.org/10.32417/article_5d908ed78f7fc7.89378141
- Анищенко А.Н., Левина Е.В. Цифровая компетентность как основа конкурентоспособности работника на рынке труда агропромышленного комплекса в условиях киберэкономики. *Экономика и социум: современные модели развития*. 2020; 10(3): 233–246. EDN XLNENC
- Chergui N., Kechadi M.T. Data analytics for crop management: a big data view. *Journal of Big Data*. 2022; 9: 123. <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00668-2>
- Кутырёв А.И., Смирнов И.Г. Применение трансформерной архитектуры глубокого обучения (RF-DETR) для мониторинга деревьев-опылителей в рядах садовых насаждений. *Аграрная наука*. 2026; (4): 127–136. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-127-136>
- Alahmad T., Neményi M., Nyéki A. Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review. *Agronomy*. 2023; 13(10): 2603. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>
- Оськин С.П., Кузнецов А.В., Конева Н.Е. Функциональное моделирование и параметрическая оценка компонентов IoT-системы сбора данных для задач точного земледелия. *Аграрная наука*. 2026; (4): 137–143. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-137-143>
- Weersink A., Fraser E., Pannell D., Duncan E., Rotz S. Opportunities and Challenges for Big Data in Agricultural and Environmental Analysis. *Annual Review of Resource Economics*. 2018; 10: 19–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>
- Гибадуллин Р.Р., Шакурова З.М. Многоуровневая платформа больших данных для интеллектуального контроля и диагностики параметров агроценозов на основе гибридных методов машинного обучения. *Аграрная наука*. 2026; (5): 153–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159>
- Низамиев М.Ф., Нургалеев А.Х., Владимиров О.В., Беляков К.Ю. Архитектура Big Data-платформы предиктивной диагностики высоковольтного электрооборудования агропромышленных комплексов на основе анализа виброакустических характеристик. *Аграрная наука*. 2026; (5): 146–152. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-146-152>
- Agatova O., Popov A., Alwaely S.A. Special aspects of using Big Data in the learning process. *Interactive Learning Environments*. 2024; 32(3): 1105–1116. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2114500>
- Тимошина Т.А., Шленская Н.М., Замель Д. Использование метода «мозгового штурма» при обучении студентов, специализирующихся в области информационных технологий. *Педагогические науки*. 2024; 2(126): 12–16. <https://doi.org/10.25633/PN.2024.02.01>
- Степанов А.Г., Плотников Г.А., Васильева В.С. Подходы к определению средств для построения методики обучения работе с большими данными. *Информатика и образование*. 2021; (4): 54–62. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2021-36-4-54-62>

REFERENCES

- Chutcheva Yu. Digital transformation of agriculture: from theory to practice. *Russian Journal of Management*. 2024; 12(4): 113–123 (in Russian). <https://doi.org/10.29039/2500-1469-2024-12-4-113-123>
- Subaeva A., Aleksandrova N. Directions of state support digitalization of agriculture of Russia. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2022; (4): 130–135 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-130-135>
- Skvortsov E.A., Nabokov V.I., Nekrasov K.V., Skvortsova E.G., Krotov M.I. Application of technologies of artificial intelligence in agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; (8): 91–98 (in Russian). https://doi.org/10.32417/article_5d908ed78f7fc7.89378141
- Anishchenko A.N., Levina E.V. Digital competence as the basis of employee competitiveness in the labour market of the agro-industrial complex in the cyber economy. *Economics and society: contemporary models of development*. 2020; 10(3): 233–246 (in Russian). EDN XLNENC
- Chergui N., Kechadi M.T. Data analytics for crop management: a big data view. *Journal of Big Data*. 2022; 9: 123. <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00668-2>
- Kutyrev A.I., Smirnov I.G. Application of the deep learning transformer architecture (RF-DETR) for monitoring pollinator trees in orchard rows. *Agrarian science*. 2026; (4): 127–136. (in Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-127-136>
- Alahmad T., Neményi M., Nyéki A. Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review. *Agronomy*. 2023; 13(10): 2603. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>
- Oskin S.P., Kuznetsov A.V., Koneva N.E. Functional modeling and parametric evaluation of components of an IoT data collection system for precision agriculture. *Agrarian science*. 2026; (4): 137–143. (in Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-137-143>
- Weersink A., Fraser E., Pannell D., Duncan E., Rotz S. Opportunities and Challenges for Big Data in Agricultural and Environmental Analysis. *Annual Review of Resource Economics*. 2018; 10: 19–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>
- Gibadullin R.R., Shakurova Z.M. A multi-layer big data platform for intelligent monitoring and diagnostics of agroecosystem parameters based on hybrid machine learning methods. *Agrarian science*. 2026; (5): 153–159. (in Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159>
- Nizamiev M.F., Nurgaliev A.Kh., Vladimirov O.V., Belyakov K.Yu. Big Data platform architecture for predictive diagnostics of high-voltage electrical equipment in agro-industrial complexes based on vibroacoustic signal analysis. *Agrarian science*. 2026; (5): 146–152. (in Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-146-152>
- Agatova O., Popov A., Alwaely S.A. Special aspects of using Big Data in the learning process. *Interactive Learning Environments*. 2024; 32(3): 1105–1116. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2114500>
- Timoshina T.A., Shlenskaya N.M., Zamel D. The use of the brainstorming method in teaching students specializing in information technology. *Pedagogicheskie nauki*. 2024; 2(126): 12–16. <https://doi.org/10.25633/PN.2024.02.01>
- Stepanov A.G., Plotnikov G.A., Vasilyeva V.S. Approaches to the choice of tools for constructing a methodology for learning to work with Big Data. *Informatics and education*. 2021; (4): 54–62 (in Russian). <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2021-36-4-54-62>

15. Гаибова Т.В., Сахнюк П.А. Инструментальная поддержка технологий организации группового обучения для развития гибких компетенций исследования и анализа данных. *Прикладная информатика*. 2022; 17(2): 31–44. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2022-17-2-31-44>

16. Дерябин А.А. Продуктивное действие в онлайн-обучении дата- и медиаграмотности. *Культурно-историческая психология*. 2024; 20(1): 56–63. <https://doi.org/10.17759/chp.2024200108>

17. Галкин А.И. Интеллектуальные технологии анализа больших данных как драйвер устойчивого развития сельского хозяйства. *Аграрная наука*. 2025; (6): 172–175. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-172-175>

18. Попов Н.И., Канева Е.А. Анализ подготовки будущих учителей информатики для формирования познавательного интереса школьников к учебной дисциплине. *Информатика и образование*. 2025; 40(3): 50–56. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2025-40-3-50-56>

19. Fiofanova O.A., Averkov M.S., Popov A.A., Glukhov P.P. Methodology and practice of development of Data Analytics Competencies. *DEFIN-2021. IV International Scientific and Practical Conference*. Association for Computing Machinery. 2021; 36. <https://doi.org/10.1145/3487757.3490876>

20. Denisova O.A. Big Data technology: assessing the quality of the educational environment. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 2001: 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2001/1/012027>

21. Бакурова Е.Н., Паршуткина Т.А. Иноязычная информационная компетенция в общей цифровой культуре специалиста сельского хозяйства. *Вестник Томского государственного университета*. 2024; 501: 154–163. <https://doi.org/10.17223/15617793/501/18>

22. Калмыкова С.В. Развитие информационно-аналитических компетенций в профессиональной подготовке магистрантов направления «Государственное и муниципальное управление». *Информатика и образование*. 2024; 39(3): 44–52. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-3-44-52>

15. Gaibova T.V., Sakhnyuk P.A. Instrumental support of technologies for organizing group training for the development of soft skills in data science and analytics. *Journal of Applied Informatics*. 2022; 17(2): 31–44 (in Russian). <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2022-17-2-31-44>

16. Deryabin A.A. Productive Action In Online Learning Of Data And Media Literacy. *Cultural-Historical Psychology*. 2024; 20(1): 56–63 (in Russian). <https://doi.org/10.17759/chp.2024200108>

17. Galkin A.I. Intelligent Big Data Analytics Technologies as a Driver for Sustainable Agricultural Development. *Agrarian science*. 2025; (6): 172–175 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-172-175>

18. Popov N.I., Kaneva E.A. Analysis of the training of future informatics teachers to develop the cognitive interest of schoolchildren in the subject. *Informatics and education*. 2025; 40(3): 50–56 (in Russian). <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2025-40-3-50-56>

19. Fiofanova O.A., Averkov M.S., Popov A.A., Glukhov P.P. Methodology and practice of development of Data Analytics Competencies. *DEFIN-2021. IV International Scientific and Practical Conference*. Association for Computing Machinery. 2021; 36. <https://doi.org/10.1145/3487757.3490876>

20. Denisova O.A. Big Data technology: assessing the quality of the educational environment. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 2001: 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2001/1/012027>

21. Bakurova Ye.N., Parshutkina T.A. Foreign language information competence in the general digital culture of an agricultural specialist. *Tomsk State University Journal*. 2024; 501: 154–163 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/15617793/501/18>

22. Kalmykova S.V. The development of information and analytical competencies in the professional training of master's students in the "State and municipal management" direction. *Informatics and education*. 2024; 39(3): 44–52 (in Russian). <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-3-44-52>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрей Николаевич Кохичко

доктор педагогических наук, заведующий кафедрой педагогики

<https://orcid.org/0000-0001-7779-5778>

SPIN-код: 7902-9057;

AuthorID: 354381 andrey_kokhichko@mail.ru

Мурманский арктический университет,
ул. Капитана Егорова, 15, Мурманск, 183038, Россия

AUTHORS' INFORMATION

Andrey Nikolaevich Kokhichko

Doctor of Pedagogical Sciences,

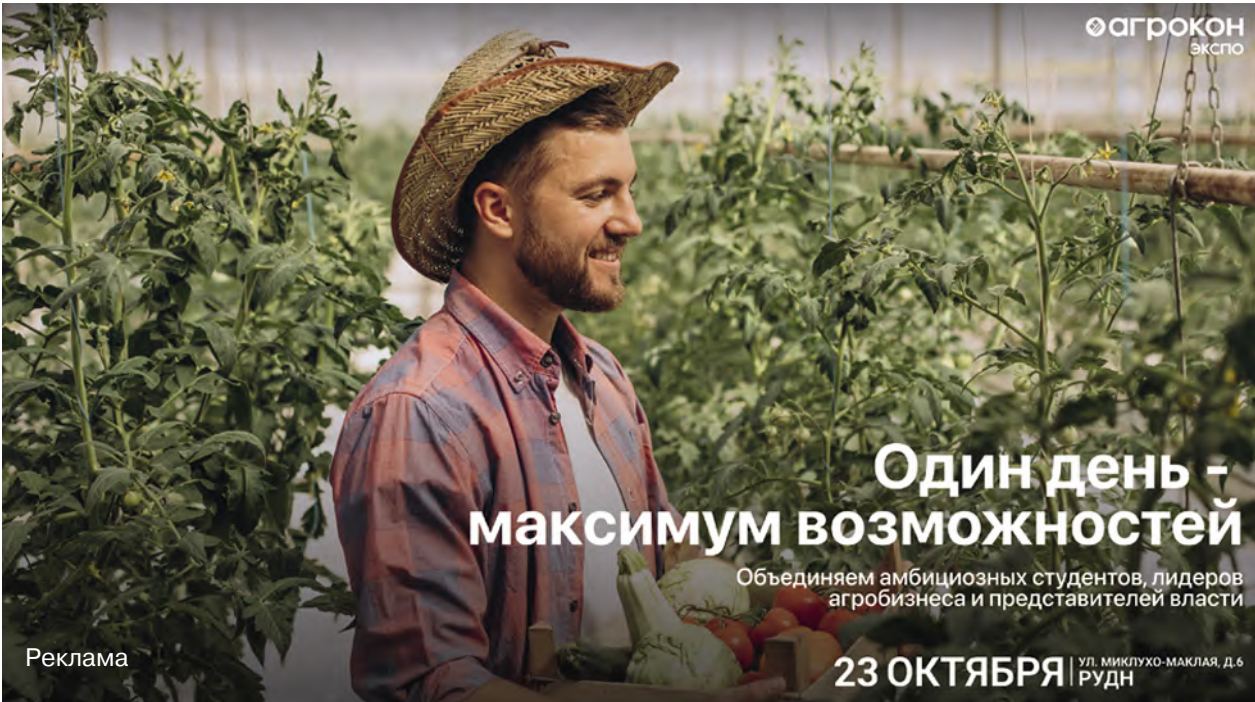
Head of the Department of Pedagogy

<https://orcid.org/0000-0001-7779-5778>

SPIN-code: 7902-9057;

AuthorID: 354381 andrey_kokhichko@mail.ru

Murmansk Arctic University,
15 Kapitan Egorov st., Murmansk, 183038, Russia



агрокон
экспо

Один день -
максимум возможностей

Объединяем амбициозных студентов, лидеров агробизнеса и представителей власти

Реклама

23 ОКТЯБРЯ | ул. Миклухо-Маклая, д. 6
РУДН