научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

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

9
2026

БЕСПЛАТНО скачать журнал и подписаться

Наш канал в МАКС

Наш Телеграм канал

ЗООТЕХНИЯ

Молочная продуктивность коров-первотелок в условиях промышленного производства молока

125

АГРОНОМИЯ

Влияние листовых подкормок на устойчивость сортов яблони к засухе

132

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алгоритм разработки интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птицы

154

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

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

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

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

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

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

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

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

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

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры

4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология

4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность

4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии животноводства

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Индексация журнала «Аграрная наука»

Префикс DOI: 10.32634

eLIBRARY.RU: да

РИНЦ: да

Ядро РИНЦ: да

Рейтинг Science Index: да

Процентиль в рейтинге Science Index: 18

Перечень ВАК РФ: да

Категория в Перечне ВАК РФ: 2

"Белый список": да

Уровень в «Белом списке»: 2

ЕГПНИ: да

Уровень в ЕГПНИ: 2

CrossRef: да

RSCI: да

Базы данных: AGRIS, РИНЦ, DOI, EBSCO

DOAJ: нет

Web of Science: нет

Scopus: нет

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

МАКС

ДЗЕН

ВКОНТАКТЕ

ТЕЛЕГРАМ

9 · 2026
Agrarnaya nauka

Том 410, номер 9, 2026
Volume 410, number 9, 2026
ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

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

© журнал «Аграрная наука»
© авторы

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

DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

Журнал «Аграрная наука» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).
Полные тексты статей доступны на сайте eLIBRARY.RU: http://elibrary.ru

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

Шеф-редактор Костромичева И.В.
Научный редактор Долгая М.Н.
Дизайн и верстка Антонов С.Н.
Редактор-корректор Кузнецова Г.М.
Библиограф Нерозник Д.С.
Журналист Седова Ю.Г.

Юридический адрес: 107053, РФ, г. Москва, ул. Садовая-Спасская, д. 20
Почтовый адрес: 109147, РФ, г. Москва, ул. Марксистская, д. 3, стр. 2
Тел. редакции +7 (916) 616-05-31
agrovetpress@inbox.ru
www.vetpress.ru
https://agrarnayanauka.ru
Реклама в журнале: +7 (927) 155-08-10

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

На печатный журнал можно подписаться:
в редакции по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453, agrovetpress@inbox.ru;
в агентстве подписки ООО «Урал-Пресс Округ» — https://www.ural-press.ru/catalog/
Бесплатная подписка на электронную версию — https://agrarnayanauka.ru
Подписка на архивные номера и отдельные статьи:
на сайте научной редакции
https://www.vetpress.ru/jour
на сайте научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.
Подписано в печать 08.09.2026
Дата выхода в свет 15.09.2026

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

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. Горбатова 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 Й., доктор ветеринарных наук, Университет ветеринарии и фармацевтики в Брно, г. Брно, Чехия.
Кощаев А.Г., доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия.
Панин А.Н., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.
Подобед Л.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт животноводства Национальной академии аграрных наук Украины, г. Харьков, Украина.
Уша Б.В., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.
Фисинин В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Российской академии наук, г. Сергиев Посад, Россия.
Юлдашбаев Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.
Ятусевич А.И., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины, г. Витебск, Беларусь.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:
Абдурасулов А.Х., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан.
Абилов А.И., доктор биологических наук, профессор, Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия.
Акназаров Б.К., доктор ветеринарных наук, профессор, Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, г. Бишкек, Кыргызстан.
Алиев А.Ю., доктор ветеринарных наук, Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, г. Махачкала, Россия.
Андреева А.В., доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.
Горелик О.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия.
Гриценко С.А., доктор биологических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.
Дерхо М.А., доктор биологических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.
Колесник Е.А., доктор биологических наук, доцент, Государственный университет просвещения, г. Москва, Россия
Концевая С.Ю., доктор ветеринарных наук, профессор, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия.
Косилов В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия.
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.

16+

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

9 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 410, номер 9, 2026
Volume 410, number 9, 2026
ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

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

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.
Топурия Л.Ю., доктор биологических наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия.
Щербаков П.Н., доктор ветеринарных наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

АГРОНОМИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:
Нтсомбох-Нцефонг Г., PhD, Университет Яунде I, г. Яунде, Камерун.
Джураев М.Я., PhD, доцент, Андижанский институт сельского хозяйства и агротехнологий, г. Андижан, Узбекистан.
Насиев Б.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан.
Тирувенгадам М., PhD, Университет Конкук, г. Сеул, Южная Корея.
ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:
Бунин М.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, г. Москва, Россия.
Гричанов И.Я., доктор биологических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, г. Пушкин, Россия.
Долженко Т.В., доктор биологических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия.
Драгавцева И.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия, г. Краснодар, Россия.
Зейналов А.С., доктор биологических наук, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, г. Москва, Россия.
Исламгулов Д.Р., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.
Казахмедов Р.Э., доктор биологических наук, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, г. Дербент, Россия.
Калмыкова Е.В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград, Россия.
Никитин С.Н., доктор сельскохозяйственных наук, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немцева, г. Ульяновск, Россия.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:
Афрасьяб Х., доктор гидромеханики и гидромеханики, Университет Кебангсаан Малайзия, Банги, Малайзия.
де Соуза К.К., PhD, Региональный университет Блюменау, г. Блюменау, Бразилия.
Зенгин Г., PhD, профессор, Сельчукский университет, г. Сельчуклу-Конья, Турция.
Кузнецова О.А., доктор технических наук, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, г. Москва, Россия.
Миронеску М., доктор технических наук, профессор, Университет Лучиана Блага в Сибиу, г. Сибиу, Румыния.
Саркар Т., PhD, Политехнический институт Мальды, г. Мальда, Индия.
Сложенкина М.И., доктор биологических наук, профессор, член-корр. РАН, Поволжский НИИ производства и переработки мясо-молочной продукции, г. Волгоград, Россия.
Смауи С., PhD, Университет Сфакса, г. Сфакс, Тунис.
Фавзи М.М., PhD, профессор, Маврикийский университет, г. Редуит, 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.
Брюханов А.Ю., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Институт агроинженерных и экологических проблем — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Санкт-Петербург, Россия.
Есимбеков Ж.С., PhD, Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, г. Алматы, Казахстан.
Зинина О.В., доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.
Иванов Ю.Г., доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.
Ишевский А.Л., доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия.
Калинина И.В., доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.
Кузнецова Е.А., доктор технических наук, доцент, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел, Россия.
Максимова С.Н., доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток, Россия.
Резниченко И.Ю., доктор технических наук, профессор, Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкова, 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.

9 · 2026
Agrarnaya nauka
Том 410, номер 9, 2026
Volume 410, number 9, 2026
ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

АГРАРНАЯ НАУКА
AGRARIAN SCIENCE

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

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

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

© journal «Agrarian science»
© authors

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

DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

Founder: Limited liability company "VIC Animal Health"

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

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

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

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

You can subscribe to the print magazine:
— in the editorial office by phone.
+7 (495) 777-67-67, ext. 1453,
agrovetpress@inbox.ru
— in the subscription agency Ural-Press Okrug LLC — https://www.ural-press.ru/catalog/
Free subscription to the electronic version of the magazine — https://agrarnayanauka.ru
Subscription to archived issues and individual articles:
— on the website of the Scientific editorial staff https://www.vetpress.ru/jour
— on the website of the Scientific Electronic Library www.elibrary.ru

The circulation of 2000 copies.

Signed in print 08.09.2026
Release date 15.09.2026

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

16+

EDITOR-IN-CHIEF
Violin B.V., Candidate of veterinary science, Leading Researcher of All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant — a branch of the Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia.
Deputy Editor-in-Chief
Rebezov M.B., Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

THE EDITORIAL BOARD

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:
Abbas R.Z., PhD, Associate Professor, University of Agriculture, Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.
Ansori A.N.M., PhD, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia.
Fisinin V.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian. Research and Technological Institute of Poultry Farming of the Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, Russia.
Javanmard M., Doctor of Veterinary Medicine, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.
Koshchaev A.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.
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, 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.

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

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

9 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 410, номер 9, 2026
Volume 410, number 9, 2026
ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

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 Aforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia.
Kazakhmedov R.E., Doctor of Biological Sciences, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Derbent, Russia.
Nikitin S.N., Doctor of Agricultural Sciences, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev, Ulyanovsk, Russia.
Zeynalov A.S., Doctor of Biological Sciences, Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery, Moscow, Russia.

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:
Afrasyab Kh., Doctor of Fluid Mechanics and Fluid engineering Machinery, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.
de Souza K.C., PhD, Blumenau Regional University, Blumenau, Brazil.
Fawzi M.M., PhD, Professor, University of Mauritius, Reduit, Mauritius.
Khan M.U., PhD., Faisalabad Agricultural University, Faisalabad, Pakistan.
Kuznetsova O.A., Doctor of Technical Sciences, V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
Mironescu M., Doctor in Industrial Engineering, Professor Eng., University Lucian Blaga of Sibiu, Sibiu, Romania.
Sarkar T., PhD, Malda Polytechnic Institute, Malda, India.
Slozhenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia.
Smaoui S., PhD, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
Zengin G., PhD, Professor, Selcuk University, Seljuk-Konya, Turkey.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:
Al-Suhaimi S. A., PhD, Professor City of Scientific Research and Technological Applications (SRTA-City) New Borg El-Arab, Alexandria, Egypt
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.
Reznicenko I.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Kemerovo, Russia
Semenova A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
Sibirev A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM, Moscow, Russia.
Suychinov A.K., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.
Tretyak L.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia.
Troyanovskaya I.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.
Yessimbekov Zh.S., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.
Zinina O.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:
Bautin V.M., Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.
Gordeev A.V., Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
Gusakov V.G., Doctor of Economics, Professor, Academician of the National Academy of Sciences, Minsk, Belarus.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:
Butko G.P., Doctor of Economics, Professor, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia.
Golovina S.G., Doctor of Economics, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.
Kuzmenko V.V., Doctor of Economics, Professor, North Caucasian Federal University, Stavropol, Russia.
Penkova I.V., Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia.
Popova E.V., Doctor of Economics, Professor, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.
Rakhmetova R.U., Doctor of Economics, Professor, University of Turan, Astana, Kazakhstan.

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

9 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 410, номер 9, 2026
Volume 410, number 9, 2026
ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ

Кочеткова И.А., *Марюшина Т.О.* Морфометрические и волюметрические МР-характеристики в оценке эффективности лечения и прогноза аутоиммунного менингоэнцефалита у собак 8

Корнюшенков Е.А., *Гаранин Д.В.*, *Баулин Н.С.* Тотальное эндопротезирование индивидуальными имплантатами коленного сустава у собак при остеосаркоме: клинические результаты и функциональные исходы 17

Маноян М.Г., *Иванова А.Н.*, *Панин А.Н.*, *Иванов А.В.* Вакцины и комплексная профилактика в аквакультуре (часть 2) 27

Ребезов Я.М., *Ребезов М.Б.* Мясо водоплавающей дичи: пищевая ценность, биологические и химические риски для здоровья (научный обзор). 42

Гафарова И.Э., Рождественская Т.Н, Рузина А.В. Выявление и дифференциация РНК вируса болезни Ньюкасла лентогенного и велогенного патотипов 56

ЗООТЕХНИЯ

Гречкина В.В., *Кван О.В.*, *Шейда Е.В.* Оценка влияния УДЧ Fe^{56} и Cu^{63} на показатели рубцовой ферментации (*in vitro*) бычков казахской белоголовой породы 65

Соколов И.В., *Дежаткина С.В.* Эффективность применения цеолит-пробиотической добавки при выращивании радужной форели в установке замкнутого водоснабжения 71

Горелик А.С., *Горелик О.В.*, *Ребезов М.Б.*, *Харлап С.Ю.*, *Эйриян Н.А.* Параметры возраста и живой массы при первом осеменении голштинских телок в зависимости от сезона рождения 79

Дивенко О.В. Оценка генетической структуры стада коров красной степной породы с разной долей кровности улучшающих пород по гену PIT-1 86

Олейник С.А., *Кокотка М.Г.* Влияние типа телосложения и генотипов бета-казеина (CSN2), каппа-казеина (CSN3) и лактоглобулина (LGB) на молочную продуктивность молочного скота 93

Шишкина Т.В., *Косилов В.И.*, *Юлдашбаев Ю.А.*, *Калякина Р.Г.*, *Никонова Е.А.*, *Кадралиева Б.Т.*, *Калашников М.В.* Сравнительный анализ яичной продуктивности родительского стада кур мясных кроссов Росс 308 и Смена 9 в условиях промышленного птицеводства 99

Коршунова Л.Г., *Куликов Е.И.*, *Мартынова В.Н.*, *Карапетян Р.В.*, *Дмитренко Д.М.*, *Кравченко А.К.* Исследование связи полиморфизмов в генах *HGF, GAB1* с показателями мясной продуктивности цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» 109

Политова М.А. Методические подходы к оценке фенотипа и племенной ценности лошадей по собственной работоспособности в коневодстве спортивного направления на примере русской верховой породы в выездке 116

Путинцева С.В., *Сафронов С.Л.*, *Виноградова Н.Д.*, *Кныш И.В.* Молочная продуктивность коров-первотелок разного происхождения в условиях промышленного производства молока 125

АГРОНОМИЯ

Резвякова С.В., *Евдакова М.В.*, *Митина Е.В.* Влияние листовых подкормок на устойчивость сортов яблони к засухе в условиях Орловской области 132

Пестерева Е.С., *Павлова С.А.*, *Захарова Г.Е.*, *Жиркова Н.Н.*, *Винокурова А.И.* Продуктивность кукурузы на зеленую массу при применении минеральных удобрений и биопрепаратов в условиях криолитозоны Якутии 139

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ахметова Р.В., *Ахметов А.Э.* Замещение природного газа гранулированной лузгой подсолнечника в паровых котельных маслоэкстракционных производств: резервы повышения КПД при ограничении по оксиду углерода 147

Зинина О.В., *Вишнякова Е.А.*, *Бушмелев Я.В.*, *Панченко А.Е.* Алгоритм разработки интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птицы 154

Ландиховская А.В., *Ситникова П.Б.*, *Казакова Н.В.* Влияние овощных и фруктовых сиропов на качество и хранимоспособность мороженого с высоким содержанием жира 161

Лебедева У.М., *Слепцова Т.В.*, *Васильева В.Т.*, *Нициевская К.Н.*, *Станкевич С.В.* Биохимический состав и органолептические свойства сублимированных дикорастущих ягод голубики и шиповника Западной Якутии 170

НОВОСТИ ИЗ ЦНСХБ

Соколова Ж.В., *Милевская И.А.* Создание терминологической базы по проблематике АПК 175

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

9 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 410, номер 9, 2026
Volume 410, number 9, 2026

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

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

CONTENTS

VETERINARY MEDICINE

Kochetkova I.A., *Marushina T.O.* Morphometric and volumetric MR characteristics in assessing the effectiveness of treatment and prognosis of autoimmune meningoencephalitis in dogs 8

Kornyushenkov E.A., *Garanin D.V.*, *Baulin N.S.* Total knee arthroplasty with custom implants for osteosarcoma in dogs: clinical results and functional outcomes 17

Manoyan M. G., Ivanova A. N., Panin A.N., Ivanov A.V. Vaccines and integrated prevention in aquaculture (Part 2) 27

Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Waterfowl Meat: Nutritional Value, Biological and Chemical Health Risks (A Scientific Review) 42

Gafarova I.E., *Rozhdestvenskaya T.N.*, *Ruzina A.V.* Development of RT-PCR Reagent Kit for detection and differentiation of Newcastle Disease virus of lentogenic and velogenic pathotypes viral RNA 56

ZOOTECHNICS

Grechkina V.V., *Kvan O.V.*, *Sheida E.V.* Evaluation of the influence of Fe^{56} and Cu^{63} UFP on the indices of rumen fermentation (*in vitro*) of Kazakh white-headed bulls 65

Sokolov I.V., *Dezhatkina S.V.* Efficiency of using zeolite-probiotic additive in growing rainbow trout in closed-loop water supply systems 71

Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Eyrian N.A. Age and body weight parameters at the first insemination of Holstein heifers, depending on the birth season 79

Divenko O.V. Assessment of the genetic structure of a herd of red steppe cows with different blood types by the PIT-1 gene 86

Oleynik S.A., Kokotka M.G The effect of body type and genotypes of beta-casein (CSN2), kappa-casein (CSN3) and lactoglobulin (LGB) on the milk productivity of dairy cattle 93

Shishkina T.V., Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Kalyakina R.G., Nikonova E.A., Kadralieva B.T., Kalashnikov M.V. Comparative analysis of egg productivity in the parent flock of meat-type crosses Ross 308 and Smena 9 under industrial poultry farming conditions 99

Korshunova L.G., *Kulikov E.I.*, *Martynova V.N.*, *Karapetyan R.V.*, *Dmitrenko D.M.*, *Kravchenko A.K.* Investigation of the *HGF, GAB1* genes polymorphisms association with meat productivity of the «Smena 9» broiler chickens 109

Politova M.A. Methodological approaches to phenotype and breeding value assessment of horses based on their performance in dressage: a case study of the Russian Riding breed 116

Putinceva S.V., *Safronov S.L.*, *Vinogradova N.D.*, *Knysh I.V.* Dairy productivity of cows of the first lactation of different breeding under conditions of industrial milk production 125

AGRONOMY

Rezvyakova S.V., *Evdakova M.V.*, *Mitina E.V.* The effect of foliar fertilization on the drought resistance of apple varieties in the Oryol region 132

Pestereva E.S., *Pavlova S.A.*, *Zakharova G.E.*, *Zhirkova N.N.*, *Vinokurova A.I.* Productivity of green mass corn when using mineral fertilizers and biological products in the cryolithozone of Yakutia 139

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Akhmetova R.V., *Akhmetov A.E.* Replacing natural gas with granulated sunflower husk in the steam boiler plants of oil extraction facilities: efficiency reserves under a carbon monoxide constraint 147

Zinina O.V., *Vishnyakova E.A.*, *Bushmelev Y.V.*, *Panchenko A.E.* An algorithm for developing an intelligent system for detecting defects in poultry carcasses 154

Landikhovskaya A.V., *Sitnikova P.B.*, *Kazakova N.V.* Effect of vegetable and fruit syrups on the quality and storage of high-fat ice cream 161

Lebedeva U.M., *Sleptsova T.V.*, *Vasilyeva V.T.*, *Nitievskaya K.N.*, *Stankevich S.V.* The biochemical composition and organoleptic properties of freezedried wild blueberries and rose hips from Western Yakutia 170

NEWS FROM CSAL

Sokolova Zh.V., Milevskaya I.A. Development of a Terminological Base on the Problems of the Agro-Industrial Complex 175

УДК 619:616.831-002.1

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-8-16

И.А. Кочеткова[1] ✉

Т.О. Марюшина[2]

[1] *ООО «Ветеринарный центр «Современные технологии» (Центр ветеринарной МРТ-диагностики «ВЦСТ»), Москва, Россия*

[2] *Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Москва, Россия*

✉ *kochetckowaira@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 22.07.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

© Кочеткова И.А., Марюшина Т.О

Морфометрические и волюметрические МР-характеристики в оценке эффективности лечения и прогноза аутоиммунного менингоэнцефалита у собак

РЕЗЮМЕ

Воспаление тканей центральной нервной системы (ЦНС) — распространенная причина тяжелых клинико-неврологических расстройств у собак. Схожесть при нейровизуализации с иными энцефалопатиями, а также гетерогенность клинических признаков делает менингоэнцефалит (МЭ) одним из сложно диагностируемых заболеваний у животных. Статистически иммуноопосредованный менингоэнцефалит занимает преобладающее место среди всех воспалительных патологий ЦНС. Неифекционный менингоэнцефалит многообразен. В большинстве случаев для лечения аутоиммунного воспаления тканей ЦНС применяют глюкокортикостероиды (ГКС). Положительный эффект могут давать лекарственные средства, основным терапевтическим действием которых является иммуносупрессия и/или их сочетание с ГКС. Мониторинг и перспектива исхода менингоэнцефалитов строится на динамике клинической симптоматики и неврологического осмотра пациента, а также на результатах повторной нейровизуализации. Прогнозирование рецидивов, долгосрочные ремиссии и перспективу выживаемости животных можно установить на основании определенных МР-критериев, выявляемых при первичном и повторном сканировании. С этой целью при рецидиве и при контроле болезни применяется морфометрическая и волюметрическая МР-визуализация.

Рутинное проведение магнитно-резонансной томографии (МРТ) помогает оценить изменения объема, распространенности и силы контрастного усиления патологических очагов воспаления, что в дальнейшем влияет на оптимальную корректировку иммуносупрессивной терапии и прогноз у собак с данным заболеванием.

Цель работы — применение морфометрических и волюметрических МР-характеристик для оценки эффективности лечения и прогноза аутоиммунного менингоэнцефалита у собак.

Ключевые слова: аутоиммунный менингоэнцефалит, преднизолон, иммунносупрессия, морфометрия, волюметрия, атрофия мозга, магнитно-резонансная томография

Для цитирования: Кочеткова И.А., Марюшина Т.О. Морфометрические и волюметрические МР-характеристики в оценке эффективности лечения и прогноза аутоиммунного менингоэнцефалита у собак. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 8–16. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-8-16

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-8-16

Irina A. Kochetkova[1] ✉

Tatiana O. Maryushina[2]

[1] *Veterinary Center of Modern Technologies LLC (Center for Veterinary MRI Diagnostics «VTST»), Moscow, Russia*

[2] *Russian Biotechnological University «ROSBIOTECH», Moscow, Russia*

✉ *kochetckowaira@yandex.ru*

Received by the editorial office: 22.07.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

© Kochetkova I.A., Marushina T.O.

Morphometric and volumetric MR characteristics in assessing the effectiveness of treatment and prognosis of autoimmune meningoencephalitis in dogs

ABSTRACT

Inflammation of the central nervous system (CNS) is a common cause of severe clinical and neurological disorders in dogs. Similarities in neuroimaging to other encephalopathies, as well as heterogeneity of clinical signs, make meningoencephalitis (ME) one of the most difficult diseases to diagnose in animals. Statistically, immune-mediated meningoencephalitis is the most common inflammatory pathology of the CNS. Non-infectious meningoencephalitis is diverse and includes diseases similar in origin but differing in location, leading symptoms, and prognosis. In most cases, glucocorticosteroids (GCS) are used to treat autoimmune inflammation of the CNS. Positive effects can be achieved with medications whose primary therapeutic action is immunosuppression and/or their combination with GCS. Monitoring and prognosticating the outcome of meningoencephalitis are primarily based on the dynamics of clinical symptoms and neurological examination of the patient, as well as the results of repeat neuroimaging. Prediction of relapses, long-term remissions, and the prospects for animal survival can be determined based on specific MRI criteria identified during both initial and repeat imaging. For this purpose, morphometric and volumetric MRI are used for both relapse and disease monitoring.

Routine magnetic resonance imaging (MRI) helps assess changes in the volume, prevalence, and strength of contrast enhancement of pathological inflammatory foci, which subsequently influences the optimal adjustment of immunosuppressive therapy and the prognosis in dogs with this disease.

The aim of this study was to use morphometric and volumetric MRI characteristics to evaluate the effectiveness of treatment and predict the prognosis of autoimmune meningoencephalitis in dogs.

Key words: autoimmune meningoencephalitis, prednisolone, immunosuppression, morphometry, volumetry, brain atrophy, magnetic resonance imaging

For citation: Kochetkova I.A., Marushina T.O. Morphometric and volumetric MR characteristics in assessing the effectiveness of treatment and prognosis of autoimmune meningoencephalitis in dogs. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 8–16 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-8-16

Введение/Introduction

Менингоэнцефалит неизвестного происхождения (МЭ/MUO meningoencephalomyelitis of unknown origin) — общее название для воспалительных процессов, происходящих в тканях головного мозга (энцефалит) и его оболочках (менингит) [1]. Наиболее часто ветеринарные неврологи сталкиваются с аутоиммунными менингоэнцефалитами (АМЭ) [2]. Этот термин включает в себя разнородную группу идиопатических воспалительных заболеваний, к которым относятся гранулематозный, некротизирующий, стероидзависимый, эозинофильный менингоэнцефалиты, а также некротический лейкоэнцефалит [1, 3, 4]. Неврологическая симптоматика при менингоэнцефалитах гетерогенная, а признаки манифестации заболевания часто носят острый или подострый характер, клинически реже проявляясь в форме хронически протекающих процессов [5–7]. Диагноз ставится на основании мультифокального поражения ЦНС при магнитно-резонансном исследовании и отсутствии выявленных инфекционных патогенов [4]. Плеоцитоз, определяемый при цитологии спинномозговой жидкости (СМЖ), может внести ясность в подтверждение аутоиммунного воспаления, однако золотым стандартом по-прежнему является посмертное гистопатологическое исследование [1, 8, 9].

Ранее перечисленные виды аутоиммунного менингоэнцефалита имеют различный патогенез, нейролокализацию и породную предрасположенность, однако протоколы лечения таких патологий во многом идентичны [1, 4]. Гранулематозный менингоэнцефалит (ГМЭ) встречается чаще остальных видов иммуноопосредованного воспаления ЦНС. Он запускает смешанный лимфоидный воспалительный процесс, образуя ангиоцентрические гранулематозные инфильтраты, типично локализующиеся в низлежащих отделах головного или верхних отделах спинного мозга. Встречается чаще у молодых собак и декоративных пород [1, 7]. Негнойный некротизирующий менингоэнцефалит (НМЭ) и некротизирующий лейкоэнцефалит (НЛЭ) — разные фенотипы одного и того же идиопатического воспаления головного мозга, топографически отличимые, но чаще развивающиеся в области телэнцефалона. Лейкоэнцефалит затрагивает субкортикальное белое вещество, в большинстве случаев охватывая лучистый венец и внутреннюю капсулу полушарий мозга, в то время как НМЭ преимущественно поражает кортикальный слой [1, 10]. Встречаемость у мопсов обусловлена генетической предрасположенностью так же, как НЛЭ у йоркширских терьеров, у которых может встречаться сочетание лейкоэнцефалита и гранулезного воспаления ЦНС [10, 11]».

Нарушение иммунной толерантности у таких животных обуславливает основной вектор терапии. Иммунодепрессивными препаратами выбора являются глюкокортикостероиды, а также лекарственные средства, в состав которых входят такие активные химические соединения, как циклоспорин, цитозина арабинозид и проч. [12–14]. Комбинация описываемых медикаментов вариабельна, данные фармпрепараты также используют в монорежиме [13, 15]. Дозировка подбирается ветеринарным неврологом в зависимости от выраженности клинических признаков и картины магнитно-резонансной томографии.

В ранних исследованиях аутоиммунных менингоэнцефалитов обширное поражение нескольких анатомических областей (мультифокальная гиперинтенсивность по Т2-ВИ, Т2-FLAIR), смещение срединной линии мозга, вовлечение области ствола в воспалительный процесс, а также менингеальное и паренхиматозное контрастное усиление говорило о неблагоприятном исходе заболевания у пациентов [1, 7, 16].

На данный момент количественный подход, включающий сегментацию головного мозга для точного измерения объема паренхимы, желудочковой системы и интракраниальных воспалительных очагов, служит достоверной моделью для сравнения МРТ до и после лечения у одного и того же пациента [18–20].

Такой способ исключает субъективность классических 2D томограмм и является малоизученным в русскоязычных источниках. Исследование вторичных атрофических процессов ЦНС на повторных МР-скринингах — диагностически важный компонент для оценки общей нейродегенерации мозговой ткани [17]. Воспалительные очаги и сопутствующий перифокальный отек имеют тенденцию к разрешению и регрессу, в то время как атрофия головного мозга является следствием необратимой нейрональной потери. Вышесказанное доказывает высокую клиническую и прогностическую значимость проведения контрольного магнитно-резонансного исследования у пациентов с диагнозом аутоиммунный менингоэнцефалит.

Цель работы — применение морфометрических и волюметрических МР-характеристик для оценки эффективности лечения и прогноза аутоиммунного менингоэнцефалита у собак.

Материал и методы исследования / Material and methods

Данное одноцентровое ретроспективное исследование проводилось в период с 15 июня 2023 года по 10 июля 2026 года на базе ветеринарной клиники «ВЦСТ» - Центра ветеринарной МРТ диагностики животных (Москва, Россия).

Объектами исследования являлись 39 собак с диагнозом аутоиммунный менингоэнцефалит.

Собранные данные включали возраст, пол, кастрационный статус, породу, тип кормления. Обязательными критериями включения являлись наличие двух и более протоколов магнитного резонанса у каждого пациента (как контрольные, так и связанные с рецидивом).

Перед проведением МРТ все животные подвергались физикальному и неврологическому

осмотру. Все манипуляции проводили максимально безопасно для животных[1, 2]. Для оценки степени неврологической дисфункции использовали шкалу Neurodisability Scale (NDS), разработанную по Gonçalves R. и соавторами [5]. Шкала включает 7 категорий неврологических нарушений (судорожная активность, способность к передвижению, постуральные нарушения, церебральные, мозжечковые, стволовые и зрительные функции), каждая из которых оценивается от 0 до 3 баллов. Суммарный балл варьирует от 0 до 21, где более высокие значения соответствуют более выраженному неврологическому дефициту. Оценку проводили при неврологическом обследовании животных до начала лечения и в динамике наблюдения. Все манипуляции проводили максимально безопасно для животных.

Магнитно-резонансную томографию головного мозга проводили на томографе напряженностью магнитного поля 1,5 Тл (MAGNETOM Aera, Германия) с внутривенным введением парамагнитного контрастирующего агента-гадобутрола_(1 ммоль/мл) JODAS Expoim Pvt. Ltd. (Индия), в дозировке 0,1 мл/кг. Основными используемыми МР-последовательностями были: Т2-ВИ, FLAIR_FS, Т1-ВИ (до/пост контрастные).

Анестезиологическое сопровождение проводили в два этапа.

На первом этапе для быстрого седативного эффекта животному вводился внутривенно пропофол (Фрезениус Каби, Австрия ГмбХ, Австрия) в дозировке 4-10 мг/кг, затем проводилась интубация трахеи и подключение к наркозно-дыхательному аппарату АИН-1 «Полинаркон-12» (АО «Завод «ЭМО», Санкт-Петербург, Россия), куда подавался изофлуран (1,5–1,8% в смеси с кислородом для поддержания газовой анестезии).

Для оценки атрофии головного мозга на первом и последующих МРТ-исследованиях измерялась высота межталамического сращения (IT-Interthalamic Adhesion Thickness), высота наиболее дилатированного латерального желудочка мозга (LV-Lateral Ventricle Height) и высота паренхимы мозга (BH-Brain Height) на одном аксиальном изображении, измеряемые в миллиметрах (мм). Определяли соотношение высоты межталамичесокго сращения к высоте мозга — Itr (IT/BH); высоты бокового желудочка к высоте мозга — LVr (LV/BH) и отношение ITr/LVr в процентах. Также рассчитывался бикаудатный индекс — BCR (A/B) в %, где A –минимальное расстояние между хвостатыми ядрами (примерно равное ширине между передними рогами латеральных желудочков), а B — максимальная ширина головного мозга, измеряемая на том же корональном срезе в мм. Для этого использовался просмотрщик КТ/МР-изображений Vidar Dicom Viewer версия 3.4.1 (ООО «ПО ВИДАР», Москва, Россия).

Объем паренхимы головного мозга (Label 1) измерялся как объем внутричерепного пространства без объема желудочковой системы мозга (Label 2). Объем очагов менингоэнцефалита рассчитывался после вычисления объема паренхимы (Label 3). Сегментацию головного мозга на первом и повторных МРТ-исследованиях выполняли с использованием программного обеспечения ITK-SNAP (версия 4.4.0, Penn Image Computing and Science Laboratory, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, США).

При отсутствии нормального распределения данные представляли в виде медианы и межквартильного интервала (Me [Q1; Q3]). Для сравнения связанных выборок использовали критерий Уилкоксона, независимых выборок — критерий Манна–Уитни, для оценки изменений качественных (дихотомических) признаков использовали критерий Мак-Немара, а также для сравнения дисперсий (разброса) двух выборок — критерий Фишера. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Обработку статистических данных проводили с помощью программного обеспечения Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США).

Исследование имеет ряд методологических ограничений: ретроспективный одноцентровый дизайн, относительно небольшой объем выборки (n = 39) и малые подгруппы при дифференциации типов менингоэнцефалита, что снижает статистическую мощность для ряда сравнений. Гистологическое подтверждение диагноза отсутствовало у всех пациентов, диагноз основывался на критериях протоколов магнитно-резонансной томографии и ответе на проведенную иммуносупрессивную терапию. Схемы иммуносупрессивной терапии носили рандомизированный характер и зависели от тяжести состояния пациента, что частично затрудняет оценку эффективности отдельных фармпрепаратов.

Результаты и обсуждение / **Results and discussion**

В течение 37 месяцев была выполнена первичная и повторная магнитно-резонансная томография головного мозга с контрастным усилением у 39 собак с диагнозом аутоиммунный менингоэнцефалит. У трех животных исследование проводилось трижды. Среди 39 собак, включенных в исследование, самцов было 17 (43,6%), самок — 22 (56,4%). Из числа самцов 4 (23,5%) были кастрированы, 13 (76,5%) — не кастрированы. Среди самок 15 (68,2%) перенесли стерилизацию, 7 (31,8%) оставались интактными. Средний (медианный) возраст собак составил 5,0 (3,8–7,0)

[1] Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS No. 123) [рус., англ.]. Страсбург. 18.03.1986.
[2] Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

лет. Наиболее распространенными породами собак были чихуахуа (10/39; 25,6%), йоркширский терьер (6/39; 15,4%), шпиц (5/39; 12,8%) и мопс (4/39; 10,3%). Реже встречались французский бульдог и метисы (по 3/39; 7,7%), мальтезе и той-терьер (по 2/39; 5,1%), а также померанский шпиц, пудель, вест-хайленд-уайт-терьер, борзая и бишон-фризе (по 1/39; 2,6%), Большинство животных получали коммерческие корма (27/39; 69,2%), натуральное кормление отмечено у 10 (25,6%) собак, смешанный тип кормления — у 2 (5,1%). Медианный интервал между первичным и повторным магнитно-резонансным исследованием составил 4,0 (2,0–8,5) месяца. У трех собак магнитно-резонансная томография выполнялась трижды, при этом интервал между вторым и третьим исследованиями составил 12 и 36 месяцев соответственно. Показаниями к повторному проведению магнитно-резонансной томографии служил клинический рецидив у 15 особей (38,5%) или являлся плановый контроль заболевания у 24 (61,5%).

На всех магнитно-томографических скринингах учитывались: нейролокализация (конкретная область поражения в головном/спинном мозге), количество участков МЭ (очаговость/мультиочаговость), масс-эффект (отсутствует/присутствует), степень накопления контрастного агента в воспалительных зонах (отсутствует/присутствует), тип менингоэнцефалита (ГМЭ/НМЭ/НЛЭ/смешанные формы), наличие дислокационного синдрома (транстенториальная грыжа/грыжа мозжечка). Проводилось оценивание неврологического дефицита по шкале NDS при первом и последующих поступлениях животного в клинику.

Вышеуказанные данные приведены в таблицах 1 и 2.

Исходя из данных таблицы 1, гранулематозный менингоэнцефалит встречается чаще остальных типов МЭ и определяется у 20 из 39 собак (51,3%). Области поражения нервной ткани локализуются в височной (56,4%), лобной (53,8%) и теменной (51,3%) долях коры больших полушарий головного мозга в большем количестве случаев.

При ГМЭ чаще поражались структуры промежуточного мозга (55,0%), а также кора больших полушарий (КБП) и ствол мозга (по 50,0%). При НМЭ воспалительные изменения преимущественно были локализованы в коре больших полушарий (100%), реже вовлекались структуры лимбической системы (57,1%) и промежуточного мозга (42,9%). При НЛЭ во всех случаях изменения обнаруживались КБП (100%), при этом в 50,0% протоколов поражалась внутренняя капсула, а в 25,0% — лучистый венец, что говорит о преобладающем патологическом процессе в области субкортикального белого вещества и проводящих путей.

Традиционно принято считать, что за счет необратимой гибели нервной ткани при некротизирующем менингоэнцефалите данный тип МЭ

Таблица 1. **Магнитно-резонансная характеристика аутоиммунных менингоэнцефалитов у собак (тип менингоэнцефалита и нейролокализация)**

Table 1. **Magnetic resonance characteristics of autoimmune meningoencephalitis in dogs (type of meningoencephalitis and neurolocalization)**

МР-характеристика (n = 39)	n (%)
Тип менингоэнцефалита	
Гранулематозный менингоэнцефалит (ГМЭ)	20 (51,3%)
Некротизирующий менингоэнцефалит (НМЭ)	7 (17,9%)
Некротизирующий лейкоэнцефалит (НЛЭ)	3 (7,7%)
ГМЭ/НЛЭ	4 (10,3%)
ГМЭ/НМЭ	3 (7,7%)
НМЭ/НЛЭ	2 (5,1%)
*Локализация очагов АМЭ**	
Височная доля	22 (56,4%)
Лобная доля	21 (53,8%)
Теменная доля	20 (51,3%)
Затылочная доля	17 (43,6%)
Таламус	15 (38,5%)
Средний мозг	8 (20,5%)
Мост	6 (15,4%)
Продолговатый мозг	5 (12,8%)
Хвостатое ядро	5 (12,8%)
Внутренняя капсула	4 (10,3%)
Гиппокамп	3 (7,7%)
Мозжечок	3 (7,7%)
Грушевидная доля	3 (7,7%)
Лучистый венец	2 (5,1%)
Белое вещество	2 (5,1%)
Перивентрикулярная область	2 (5,1%)
Свод головного мозга	2 (5,1%)
Спинной мозг	2 (5,1%)
Межталамическое сращение	1 (2,6%)
Гипоталамус	1 (2,6%)
Серое вещество	1 (2,6%)
Область хиазмы	1 (2,6%)

Примечание: *у одной собаки могли одновременно поражаться несколько анатомических областей, поэтому сумма процентов превышает 100%.

является более неблагоприятным по течению и прогнозам заболеванием. В нашем исследовании статистической значимости между гистопатологическим видом аутоиммунного менингоэнцефалита и рецидивами у животного выявлено не было (точный критерий Фишера, p = 0,529).

Поражение теменной доли сопровождалось более высокой частотой рецидивов: 55,0%, при этом у 21,1% наблюдался рецидив симптомов без вовлечения данной анатомической области (p = 0,048). При поражении лобной доли коры больших полушарий отмечалась аналогичная тенденция, однако статистической значимости она не достигла (OR = 3,85; p = 0,098). Связи рецидива с поражением иных отделов головного мозга и с мультифокальным характером процесса не выявлено (p > 0,05).

У 40,0% собак с диффузным и мультифокальным поражением отмечали рецидив симптомов, как и у 22,2% животных с фокальной формой. Однако статистически значимой связи между

мультиочаговостью менингоэнцефалита и возобновлением клинической картины выявлено не было (точный критерий Фишера, p = 0,445).

По результатам таблицы 2 определяется снижение медианного значения неврологического дефицита по шкале NDS с 4,0 до 3,0 баллов после пройденной терапии, но статистически значимых различий определено не было (критерий знаковых рангов Уилкоксона, p = 0,130).

При первичном МРТ масс-эффект отсутствовал у 64,1% животных, при повторном исследовании его отсутствие определялось в 76,9% случаев. Однако статистической значимости не наблюдалось (p = 0,063, критерий Мак-Немара). На первых МРТ исследованиях самым распространенным типом накопления контраста было гетерогенное — 46,2%, при повторных скринингах у большинства собак (61,5%) контрастное усиление отсутствовало. Одновременно доля животных без контрастного усиления увеличилась с 30,8% до 61,5%. Полученные различия были статистически значимыми (p = 0,002).

Высокий балл неврологического дефицита по шкале NDS не зависел от степени накопления очагами контрастирующего агента на первом и втором МРТ (критерий Манна—Уитни, p > 0,05). При этом наблюдалась тенденция к более выраженному неврологическому дефициту у животных с масс-эффектом. При сравнении NDS в зависимости от степени масс-эффекта различия не достигли статистической значимости (p = 0,062). Более высокий NDS был статистически значимо связан с мультифокальным характером поражения: медиана 4 балла (при мультифокальности МЭ) против 1 балла при единичном поражении (p = 0,033).

При повреждении гиппокампа отмечалась тенденция к более высокому NDS — 6 баллов, против 3,5 балла (p = 0,035). У всех пациентов с патологическим сигналом от гиппокампальной области наблюдались кластерные судороги в анамнезе (3/3). В данных случаях гиперинтенсивное поражение от структур лимбической системы мозга можно интерпретировать как постсудорожный цитотоксический отек (учитывая усиленную восприимчивость гиппокампа к эксайтотоксичности) и как зону активного воспаления. Вовлечение данной анатомической области могло определять более высокие значения NDS — медиана 6 баллов (диапазон 5–9) до лечения, при средних значениях NDS по всем пациентам — 4 (диапазон 3-5). Однако с учетом малой выборки невозможно достоверно интерпретировать данные изменения, потому вывод требует дальнейшего изучения.

Клинические проявления и применяемые схемы терапии у исследуемых собак представлены на рисунке 1.

Достоверно значимой связи отдельных клинических симптомов с развитием рецидива выявлено не было. У животных, в анамнезе которых встречалась структурная эпилепсия, проявляющаяся наличием приступов судорог (клонического/клонико-тонического/миотонического характера) медианный объем очагов менингоэнцефалита и объем пораженной паренхимы были немного выше, чем у животных без приступов, при этом различия не достигли статистической значимости: 3105,20 против 2081,76 мм³ (p = 0,513) и 3,67 против 3,09% (критерий Манна—Уитни, p = 0,539) соответственно. В исследуемой группе животных больший суммарный объем пораженной нервной ткани не был связан с повышенной вероятностью развития судорожного синдрома.

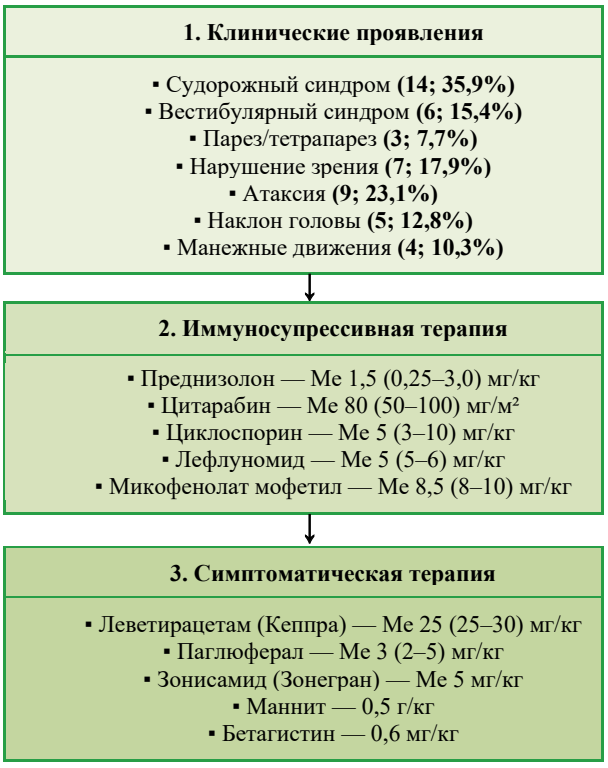
Таблица 2. **Динамика клинических показателей и МР-изменений у 39 собак с аутоиммунными менингоэнцефалитами (шкала NDS, признаки масс-эффекта и контрастного усиления, дислокационного синдрома)**

Table 2. **Dynamics of clinical indicators and MR changes in 39 dogs with autoimmune meningoencephalitis (NDS scale, signs of mass effect and contrast enhancement, and dislocation syndrome)**

Показатели	1-е МРТ	2-е МРТ	p
Неврологический статус (NDS), Me (Q1–Q3), баллы	4,0 (2,5–5,0)	3,0 (2,0–5,0)	0,130
Масс-эффект, n (%)			0,063
Отсутствовал	25 (64,1%)	30 (76,9%)	
Присутствовал	14 (35,9%)	9 (23,1%)	
Контрастное усиление, n (%)			0,002
Отсутствовало	12 (30,8%)	24 (61,5%)	
Присутствовало	27 (69,2%)	15 (38,5%)	
Дислокация головного мозга, n (%)			—
Отсутствовала	37 (94,9%)	39 (100%)	
Транстенториальная грыжа	1 (2,6%)	0	
Сочетание транстенториальной грыжи и грыжи мозжечка	1 (2,6%)	0	

Рис. 1. Клиническая симптоматика и схема медикаментозной терапии, применяемая у 39 собак с аутоиммунным менингоэнцефалитом

Fig. 1. Clinical symptoms and drug therapy regimen used in 39 dogs with autoimmune meningoencephalitis



У всех собак после проведенной терапии отмечалась тенденция к снижению выраженности неврологического дефицита. При индивидуальном анализе у большинства животных с положительной МР-динамикой наблюдалось снижение NDS, тогда как прогрессирование воспалительных изменений или появление новых очагов сопровождалось ухудшением неврологического статуса. У животных, которым выполнялось третье МРТ, сохранялась тенденция к улучшению клинической симптоматики и восстановлению утраченных рефлексов, однако малое число наблюдений не позволяет провести точную статистическую оценку.

Анализ применявшихся схем терапии указывает на то, что основным компонентом лечения у большинства исследуемых животных являлся преднизолон, который при более тяжелом неврологическом дефиците или обширном поражении ЦНС комбинировали с цитарабином, циклоспорином, лефлуномидом или микофенолата мофетилом. Более благоприятная клиническая и магнитно-резонансная динамика наблюдалась у собак, получавших комбинацию иммудепрессанов — преднизолона с цитарабином. При повторном МРТ у таких пациентов наблюдалось снижение объема воспалительных очагов, полное или частичное исчезновение контрастного усиления и уменьшение баллов по шкале NDS.

Нельзя не подчеркнуть, что рецидивы заболевания встречались у собак и при применении комбинации иммуносупрессивных лекарственных средств. Такая тенденция наблюдалось у животных с более высокими баллами неврологического дефицита и выраженными мультиочаговыми поражениями при сканировании МРТ. Отдельного внимания заслуживает клинический случай, в котором была проведена исключительно симптоматическая терапия антиконвульсантами без иммуносупрессивного сопровождения. При повторном приеме данного пациента отмечалось значительное прогрессирование заболевания с появлением новых очагов и ухудшением неврологического статуса, что подчеркивает важность своевременного и этиологического лечения. Противосудорожные препараты применялись для купирования и контроля структурных эпилептических приступов. Маннит был применен пациентам, в анамнезе которых наблюдалась кластерная эпилепсия или эпилептический статус (3/5). Бетагистин входил в комплексную терапию собак с выраженными признаками вестибулярной атаксии (4/6). Таким образом, эффективность лечения определялась не только выбранной схемой терапии иммуносупрессорами, но и тяжестью патологического процесса на момент постановки диагноза.

Примеры магнитной томографических исследований животных с клинической и нейровизуальной динамикой представлены на рисунках 2 и 3.

На Т2-взвешенных изображениях в сагиттальной (a) и аксиальной (b) плоскостях определяется

Рис. 2. МР-томограмма головного мозга собаки породы мальтезе, ♀, 5 лет (a, d — сагиттальные срезы Т2-ВИ; b, e — аксиальные срезы Т2-ВИ; c, f — аксиальные срезы постконтрастного Т1-ВИ), где a, b, c — снимки первого МРТ, a d, e, f — повторного

Fig. 2. MR-tomogram of the dog's brain, maltese breed, ♀, 5 years old (a, d — sagittal T2-WI slices; b, e — axial T2-WI slices; c, f — axial post-contrast T1-WI slices), where a, b, c are images from the first MRI scan, and d, e, f are images from the second scan

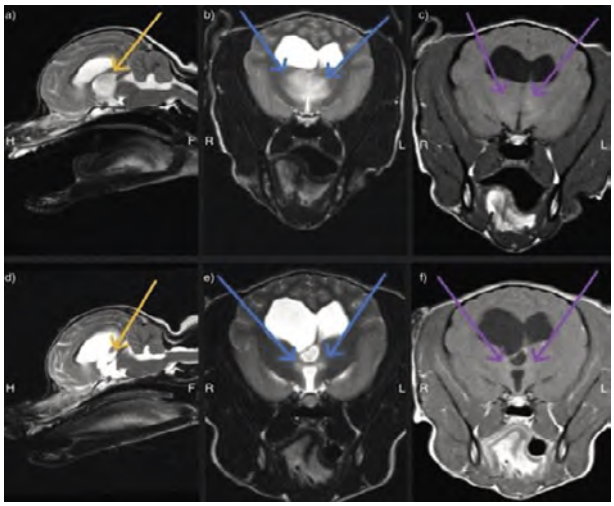
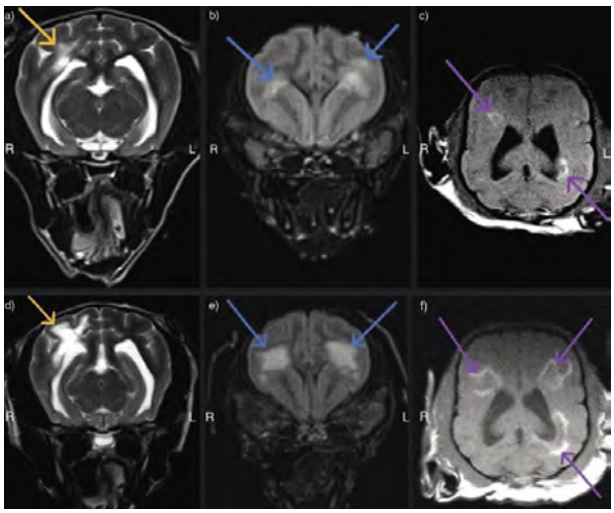


Рис. 3. МР-томограмма головного мозга собаки породы той-терьер, ♀, 5,5 лет (a, d — аксиальные срезы Т2-ВИ; b, e — аксиальные срезы FLAIR_FS; c, f — корональные срезы постконтрастного Т1-ВИ), где a, b, c — снимки первого МРТ, a d, e, f — повторного

Fig. 3. MRI scan of the dog's brain, female toy terrier, 5.5 years old (a, d — axial T2-WI slices; b, e — axial FLAIR_FS slices; c, f — coronal post-contrast T1-WI slices), where a, b, c are images from the first MRI scan, and d, e, f are images from the second scan



объемный гиперинтенсивный очаг в области медиальной части правого и левого таламуса, а также межталамического сращения, с незначительным гетерогенным контрастным усилением (c-фиолетовые стрелки). При повторном МРТ сканировании определяется выраженное уменьшение объема пораженной ткани (e-синие стрелки), отсутствие контрастного усиления (f) при сопутствующем снижении объема межталамического сращения (d-оранжевая стрелка). В анамнезе пациента наблюдалась частичная потеря зрения; лечение составляли-преднизолон в дозе 1,0 мг/кг

в сутки, цитарабин — 80 мг/м², дважды в сутки. В данном случае МРТ было проведено для контроля лечения в безрецидивный период (планово).

На аксиальных Т2-взвешенных изображениях (a) визуализируется гиперинтенсивный сигнал в области правой теменной доли коры больших полушарий головного мозга, преимущественно субкортикального белого вещества (лучистый венец), с признаками незначительной вентрикулярной компрессии (оранжевая стрелка). Также определяются мультифокальные билатеральные очаги гиперинтенсивности на FLAIR_FS в области лобных долей КБП (b — синие стрелки), с выраженным кольцевидным контрастным усилением (c — фиолетовые стрелки). На втором МРТ отмечается увеличение первичных очагов менингоэнцефалита (d, e), с усилением степени накопления контрастного агента по периферии воспалительных участков ЦНС (f). В анамнезе пациента наблюдали проприоцептивный дефицит конечностей, унилатерально, слева, а также тонический судорожный синдром; лечение составляли — преднизолон в дозе — 0,5 мг/кг в сутки и лефлуномид 3 мг/кг в сутки. В данном случае МРТ было проведено из-за рецидива неврологических симптомов и учащении эпилептической активности.

В группе исследуемых животных положительная динамика аутоиммунного воспаления определялась у 19 собак (48,7%) и характеризовалась снижением объема/количества очагов, а также уменьшением/исчезновением контрастного усиления. Отрицательная динамика отмечалась у 18 особей (46,2%), она определялась появлением новых участков, увеличением объема первичного воспаления и генерализацией менингоэнцефалита, в отдельных случаях усилением контрастирования. У 1 пациента (2,6%) изменений выявлено не было, еще у 1 (2,6%) сформировалась кистозное образование в локализации ранее существовавшего очага.

Несмотря на регресс воспалительных зон в центральной нервной системе, у многих животных появлялись или нарастали атрофические изменения паренхимы головного мозга, включая кортикальную и церебеллярную атрофию, вентрикуломегалию и уменьшение объема межталамического сращения. Потому снижение активности воспалительного процесса не исключало общего прогрессирования дегенерации нервной ткани.

На рисунке 4 представлен пример выполнения линейных морфометрических измерений головного мозга у собаки с помощью МРТ.

На аксиальном Т2-взвешенном изображении (a) межталамическое сращение (IT) отмечено оранжевой линией, высота паренхимы мозга (ВН) –зеленой, высота бокового желудочка мозга (LV) — фиолетовой. На корональном FLAIR_fs изображении (b) маленькая желтая линия — минимальное расстояние между хвостатыми ядрами (A), а синяя — максимальная ширина головного мозга в той же области.

Рис. 4. Измерение показателей атрофии головного мозга на примере собаки породы чихуахуа, возраст 3 года, ♂. a) — аксиальный срез Т2-ВИ, b) — корональный срез FLAIR_FS

Fig. 4. Measurement of brain atrophy in a 3-year-old male chihuahua dog. a) — axial T2-WI slice, b) — coronal FLAIR_FS slice

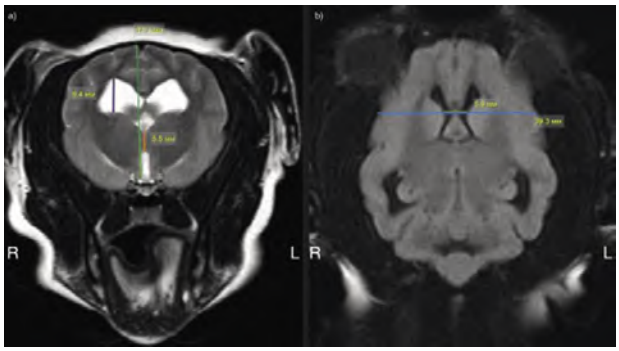


Таблица 3. **Сравнение морфометрических и волюметрических показателей между первым и вторым МРТ**

Table 3. **Comparison of morphometric and volumetric indicators between the first and second MRI scans**

Показатель	Ед.	n	1-е МРТ Me (Q1–Q3)	2-е МРТ Me (Q1–Q3)	p
Морфометрические показатели					
IT	мм	39	6,5 (5,8–7,4)	5,8 (4,5–6,3)	< 0,001
LV	мм	39	8,4 (6,0–10,7)	9,4 (6,4–12,0)	< 0,001
ВН	мм	39	37,8 (36,4–39,1)	37,4 (36,0–39,3)	0,005
A	мм	39	5,1 (4,4–6,7)	5,9 (4,5–7,5)	< 0,001
B	мм	39	38,8 (37,4–41,2)	38,7 (36,9–40,8)	0,537
ITr	%	39	17,9 (15,1–19,4)	15,6 (12,4–16,4)	< 0,001
LVr	%	39	21,3 (16,1–29,2)	24,5 (17,1–30,8)	< 0,001
ITr/LVr	%	39	76,3 (60,2–111,5)	62,2 (41,1–93,8)	< 0,001
BCR	%	39	13,3 (11,1–16,5)	15,0 (11,4–18,8)	0,001
Волюметрические показатели					
Объем паренхимы	мм³	39	62332,8 (55553,7–68970,9)	61496,6 (54152,0–69449,2)	< 0,001
Объем желудочков	мм³	39	4135,2 (2592,5–5978,5)	5005,8 (2983,9–9070,8)	< 0,001
Объем очагов	мм³	39	2238,2 (645,6–4526,6)	1402,4 (319,4–3631,7)	0,016
Очаги/ паренхима	%	39	3,32 (0,97–7,04)	2,18 (0,53–5,34)	0,077

Примечание: *количественные данные представлены как медиана и межквартильный размах (IQR) Me (Q1–Q3). Для сравнения использован критерий знаковых рангов Уилкоксона.

Для количественной оценки динамики структурных изменений головного мозга было проведено сравнение морфометрических и волюметрических показателей при первичном и повторном МР-исследованиях (таблица 3).

При повторном МРТ определяются статистически значимые признаки прогрессирования атрофии головного мозга. Это доказывают морфометрические показатели IT и ITr (уменьшение), LV и LVr (увеличение), снижение отношения ITr/LVr и увеличение BCR ($p \leq 0,001$) для данных показателей. При этом ширина головного мозга (B) статистически значимо не изменилась ($p = 0,537$). Волюметрические данные также подтверждают развитие атрофических изменений: объем паренхимы головного мозга статистически значимо

уменьшился с 62 332,8 до 61 496,6 мм³ ($p < 0,001$), тогда как объем желудочковой системы увеличился с 4135,2 до 5005,8 мм³ ($p < 0,001$). Параллельно визуализировался регресс воспалительного поражения. Медиана объема очагов менингоэнцефалита статистически значимо снизилась с 2238,2 до 1402,4 мм³ ($p = 0,016$). Отношение объема очагов к объему паренхимы также стало снижаться с 3,32 до 2,18%, однако различия не достигли статистической значимости ($p = 0,077$).

Выводы/Conclusion

В динамике магнитно-резонансных исследований установлено статистически значимое снижение объема паренхимы головного мозга и увеличение объема желудочковой системы, что свидетельствует о развитии поствоспалительной атрофии как следствия необратимой утраты нервной ткани. Одновременно регистрировалось уменьшение межталамического сращения, увеличение расстояния между хвостатыми ядрами и высоты боковых желудочков. Волюметрические данные подтвердили, что линейные морфометрические показатели (IT, ITr, LVr, BCR и A) достоверно отражают степень вентрикуломегалии и могут рассматриваться в качестве надежных маркеров церебральной атрофии.

На фоне иммуносупрессивной терапии отмечено статистически значимое уменьшение абсолютного объема воспалительных очагов, однако их относительная доля по отношению к объему паренхимы достоверно не изменялась. При отсутствии клинического рецидива регресс очагов был выражен значительно сильнее (медиана — 51,8%) по сравнению с рецидивом (9,7%), что может указывать на неполное разрешение воспалительного процесса в последнем случае и служить предиктором повторного обострения. При этом исходный объем, количество очагов и гистопатологический тип менингоэнцефалита не были связаны с развитием рецидива.

Рецидив заболевания сопровождался ухудшением неврологического статуса по шкале NDS, тогда как при отсутствии рецидива наблюдалась его положительная динамика. Судорожный синдром чаще встречался при рецидивирующем течении, однако статистически значимой связи не выявлено. Из всех изученных анатомических областей только поражение теменной доли коры больших полушарий коррелировало с повышенным риском рецидива. Значимой зависимости между рецидивированием и схемой иммуносупрессивной терапии не установлено, что, вероятно, обусловлено назначением более агрессивного лечения пациентам с исходно тяжелым клиническим состоянием.

Впервые в отечественной ветеринарной практике применены методы МР-морфометрии и МР-волюметрии для оценки собак с менингоэнцефалитами аутоиммунной этиологии. Полученные результаты подтверждают клиническую целесообразность повторного магнитно-резонансного сканирования, которое позволяет объективно оценивать динамику воспалительного процесса, эффективность проводимой терапии, прогнозировать дальнейшее течение заболевания, а также выявлять сопутствующие дегенеративные изменения церебральной ткани.

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. Cornelis I., Van Ham L., Gielen I., De Decker S., Bhatti S.F.M. Clinical presentation, diagnostic findings, prognostic factors, treatment and outcome in dogs with meningoencephalomyelitis of unknown origin: A review. *The Veterinary Journal*. 2019; 244: 37–44. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.12.007

2. Gonçalves R., De Decker S., Walmsley G., Butterfield S., Maddox T.W. Inflammatory Disease Affecting the Central Nervous System in Dogs: A Retrospective Study in England (2010–2019). *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 819945. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.819945

3. Lemke L., Carlson R., Warzecha K., Volk A.V., Tipold A., Nessler J. Elevated Interleukin-31 Levels in Serum, but Not CSF of Dogs with Steroid-Responsive Meningitis-Arteritis Suggest an Involvement in Its Pathogenesis. *Animals*. 2023; 13(16): 2676. https://doi.org/10.3390/ani13162676

4. Nessler J.N., Tipold A. Of potential new treatment targets and polythetic approach in meningoencephalitis of unknown origin: a review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1465689. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1465689

5. Gonçalves R. *et al.* Development of a reliable clinical assessment tool for meningoencephalitis in dogs: The neurodisability scale. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2023; 37(3): 1111–1118. https://doi.org/10.1111/jvim.16717

6. Nagendran A. *et al.* Peri-ictal magnetic resonance imaging characteristics in dogs with suspected idiopathic epilepsy. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2021; 35(2): 1008–1017. https://doi.org/10.1111/jvim.16058

7. Кочеткова И.А., Марюшина Т.О., Крюковская Г.М., Матвеева М.В. Значимость магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике судорожного синдрома у мелких домашних животных. *Аграрная наука*. 2025; (2): 54–60. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-54-60

8. Кочеткова И.А., Марюшина Т.О., Матвеева М.В., Крюковская Г.М., Львин Я.А. Обоснованность цитологического исследования спинномозговой жидкости для верификации менингоэнцефалита у кошек и собак. *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии.* 2026; (2): 196–203. https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.196

REFERENCES

1. Cornelis I., Van Ham L., Gielen I., De Decker S., Bhatti S.F.M. Clinical presentation, diagnostic findings, prognostic factors, treatment and outcome in dogs with meningoencephalomyelitis of unknown origin: A review. *The Veterinary Journal*. 2019; 244: 37–44. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.12.007

2. Gonçalves R., De Decker S., Walmsley G., Butterfield S., Maddox T.W. Inflammatory Disease Affecting the Central Nervous System in Dogs: A Retrospective Study in England (2010–2019). *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 819945. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.819945

3. Lemke L., Carlson R., Warzecha K., Volk A.V., Tipold A., Nessler J. Elevated Interleukin-31 Levels in Serum, but Not CSF of Dogs with Steroid-Responsive Meningitis-Arteritis Suggest an Involvement in Its Pathogenesis. *Animals*. 2023; 13(16): 2676. https://doi.org/10.3390/ani13162676

4. Nessler J.N., Tipold A. Of potential new treatment targets and polythetic approach in meningoencephalitis of unknown origin: a review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1465689. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1465689

5. Gonçalves R. *et al.* Development of a reliable clinical assessment tool for meningoencephalitis in dogs: The neurodisability scale. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2023; 37(3): 1111–1118. https://doi.org/10.1111/jvim.16717

6. Nagendran A. *et al.* Peri-ictal magnetic resonance imaging characteristics in dogs with suspected idiopathic epilepsy. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2021; 35(2): 1008–1017. https://doi.org/10.1111/jvim.16058

7. Kochetkova I.A., Maryushina T.O., Kryukovskaya G.M., Matveeva M.V. The importance of magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of seizures in small pets. *Agrarian science*. 2025; (2): 54–60 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-54-60

8. Kochetkova I.A., Maryushina T.O., Matveeva M.V., Kryukovskaya G.M., Lvin Ya.A. Justification of cerebrospinal fluid cytological examination for the verification of meningoencephalitis in cats and dogs. *Legal regulation in veterinary medicine*. 2026; (2): 196–203 (in Russian). https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.196

9. Spohn F., Lesta G., Wang-Leandro A., Kajin F., Volk H.A., Nessler J.N. Cerebrospinal fluid markers and magnetic resonance imaging lesion volume predicting relapse in canine meningoencephalitis of unknown origin. *Frontiers in Veterinary Science*. 2026; 13: 1733620. https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1733620
10. van Renen J., Kehl A., Buhmann G., Matiasek L.A., Zablotski Y., Fischer A. Allele frequency of a genetic risk variant for necrotizing meningoencephalitis in pug dogs from Europe and association with the clinical phenotype. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1407288. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1407288
11. Levine J.M., Fosgate G.T., Porter B., Schatzberg S.J., Greer K. Epidemiology of Necrotizing Meningoencephalitis in Pug Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2008; 22(4): 961–968. https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0137.x
12. Шестакова М.А., Бышляга О.Ю., Синякин И.А., Баталова Т.А. Влияние кортикостероидов на нейроны головного мозга и клетки глии: обзор литературы. *Innova*. 2024; 10(2): 67–75. EDN LDWKXD
13. Heidemann P.L., Erhald B., Koch B.C., Gredal H. Investigation of side effects to treatment and cause of death in 63 Scandinavian dogs suffering from meningoencephalitis of unknown origin: a retrospective study. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2023; 65: 46. https://doi.org/10.1186/s13028-023-00709-7
14. Barber R., Downey Koos L. Treatment With Cytarabine at Initiation of Therapy With Cyclosporine and Glucocorticoids for Dogs With Meningoencephalomyelitis of Unknown Origin Is Not Associated With Improved Outcomes. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 925774. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.925774
15. Mercier M., Barnes Heller H.L. Efficacy of glucocorticoid monotherapy for treatment of canine meningoencephalomyelitis of unknown etiology: a prospective study in 16 dogs. *Veterinary Medicine and Science*. 2015; 1(1): 16–22. https://doi.org/10.1002/vms3.4
16. Gonçalves R., De Decker S., Walmsley G., Maddox T.W. Magnetic resonance imaging prognostic factors for survival and relapse in dogs with meningoencephalomyelitis of unknown origin. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1370882. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1370882
17. Gonçalves R., Walmsley G., Maddox T.W. Brain Atrophy in Dogs With Meningoencephalitis of Unknown Origin. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2025; 39(4): jvim70095. https://doi.org/10.1111/jvim.70095
18. Макаров Л.М., Поздняков А.В., Разинова А.А., Гребенюк М.М., Позднякова О.Ф., Ерохин М.В. Морфометрический анализ структур головного мозга. *Визуализация в медицине*. 2021; 3(3): 23–29. EDN OTMCCF
19. Gonçalves R., De Decker S., Walmsley G., Maddox T.W. Prognosis in meningoencephalitis of unknown origin in dogs: Risk factors associated with survival, clinical relapse, and long-term disability. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2024; 38(3): 1583–1590. https://doi.org/10.1111/jvim.17037
20. Hecht E.E., Smaers J.B., Dunn W.D., Kent M., Preuss T.M., Gutman D.A. Significant Neuroanatomical Variation Among Domestic Dog Breeds. *Journal of Neuroscience*. 2019; 39(39): 7748–7758. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0303-19.2019

9. Spohn F., Lesta G., Wang-Leandro A., Kajin F., Volk H.A., Nessler J.N. Cerebrospinal fluid markers and magnetic resonance imaging lesion volume predicting relapse in canine meningoencephalitis of unknown origin. *Frontiers in Veterinary Science*. 2026; 13: 1733620. https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1733620
10. van Renen J., Kehl A., Buhmann G., Matiasek L.A., Zablotski Y., Fischer A. Allele frequency of a genetic risk variant for necrotizing meningoencephalitis in pug dogs from Europe and association with the clinical phenotype. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1407288. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1407288
11. Levine J.M., Fosgate G.T., Porter B., Schatzberg S.J., Greer K. Epidemiology of Necrotizing Meningoencephalitis in Pug Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2008; 22(4): 961–968. https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0137.x
12. Shestakova M.A., Byshlyaga O.Yu., Sinyakin I.A., Batalova T.A. Effects of corticosteroids on brain neurons and glia cells: a review of the literature. *Innova*. 2024; 10(2): 67–75 (in Russian). EDN LDWKXD
13. Heidemann P.L., Erhald B., Koch B.C., Gredal H. Investigation of side effects to treatment and cause of death in 63 Scandinavian dogs suffering from meningoencephalitis of unknown origin: a retrospective study. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2023; 65: 46. https://doi.org/10.1186/s13028-023-00709-7
14. Barber R., Downey Koos L. Treatment With Cytarabine at Initiation of Therapy With Cyclosporine and Glucocorticoids for Dogs With Meningoencephalomyelitis of Unknown Origin Is Not Associated With Improved Outcomes. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 925774. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.925774
15. Mercier M., Barnes Heller H.L. Efficacy of glucocorticoid monotherapy for treatment of canine meningoencephalomyelitis of unknown etiology: a prospective study in 16 dogs. *Veterinary Medicine and Science*. 2015; 1(1): 16–22. https://doi.org/10.1002/vms3.4
16. Gonçalves R., De Decker S., Walmsley G., Maddox T.W. Magnetic resonance imaging prognostic factors for survival and relapse in dogs with meningoencephalomyelitis of unknown origin. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; 11: 1370882. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1370882
17. Gonçalves R., Walmsley G., Maddox T.W. Brain Atrophy in Dogs With Meningoencephalitis of Unknown Origin. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2025; 39(4): jvim70095. https://doi.org/10.1111/jvim.70095
18. Makarov L.M., Pozdnyakov A.V., Razinova A.A., Grebenyuk M.M., Pozdnyakova O.F., Erokhin M.V. Morphometric analysis of brain structures. *Visualization in medicine*. 2021; 3(3): 23–29 (in Russian). EDN OTMCCF
19. Gonçalves R., De Decker S., Walmsley G., Maddox T.W. Prognosis in meningoencephalitis of unknown origin in dogs: Risk factors associated with survival, clinical relapse, and long-term disability. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2024; 38(3): 1583–1590. https://doi.org/10.1111/jvim.17037
20. Hecht E.E., Smaers J.B., Dunn W.D., Kent M., Preuss T.M., Gutman D.A. Significant Neuroanatomical Variation Among Domestic Dog Breeds. *Journal of Neuroscience*. 2019; 39(39): 7748–7758. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0303-19.2019

ОБ АВТОРАХ

Ирина Александровна Кочеткова[1]
аспирант
kochetckowaira@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0004-6751-7490

Татьяна Олеговна Марюшина[2]
кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «ветеринарная медицина»
mariushina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5247-5804

[1] Общество с ограниченной ответственностью «Ветеринарный центр «Современные технологии» (Центр ветеринарной МРТ-диагностики «ВЦСТ»), ул. Складочная, д. 1, корп. 9, Москва, 127018, Россия
[2] Российский Университет биотехнологий (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Irina Aleksandrovna Kochetkova[1]
Postgraduate
kochetckowaira@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0004-6751-7490

Tatiana Olegovna Maryushina[2]
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Medicine
mariushina@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5247-5804

[1] Veterinary Center of Modern Technologies LLC (Center for Veterinary MRI Diagnostics “VTST”), 1/9 Skladochnaya st., Moscow, 127018, Russia

[2] Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), 11 Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russia

УДК 619:617.3-089.844

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-17-26

Е.А. Корнюшенков[1] ✉

Д.В. Гаранин[1]

Н.С. Баулин[1, 2]

[1] Ветеринарный онкологический научный центр «Биоконтроль», Москва, Россия

[2] Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

✉ *evg-kornyushenkov@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 22.05.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

© Корнюшенков Е.А., Гаранин Д.В., Баулин Н.С.

Тотальное эндопротезирование индивидуальными имплантатами коленного сустава у собак при остеосаркоме: клинические результаты и функциональные исходы

РЕЗЮМЕ

Цель. Оценить клинические и функциональные результаты персонифицированного тотального эндопротезирования коленного сустава у собак с остеосаркомой дистального отдела бедренной кости.

Материал и методы. Ретроспективная серия из трех клинических наблюдений (2021–2025 гг.). Всем пациентам проводилась предоперационная химиотерапия цисплатином, двум из трех — предоперационная лучевая терапия. Выполнялась широкая сегментарная резекция дистального отдела бедренной кости с замещением дефекта индивидуальным эндопротезом, изготовленным по данным компьютерной томографии с применением аддитивных технологий.

Результаты. Резекция в пределах морфологически здоровых тканей (R0) достигнута у двух пациентов, у одного в биоптате костного мозга из области остеотомии выявлен очаговый опухолевый рост, что соответствует статусу R1. Локальный рецидив в зоне резекции не зарегистрирован ни в одном случае при сроках наблюдения 4, 12 и 19 месяцев. Опороспособность конечности восстановлена у всех пациентов. Осложнения включали артрофиброз у одного пациента, потребовавший ревизионного вмешательства. Первые отдаленные метастазы были выявлены у всех трех пациентов в сроки от 3,2 до 4 месяцев после операции; у пациента 3 через 8,5 месяца дополнительно выявлен очаг остеолитической деструкции в большеберцовой кости, механизм происхождения которого не был установлен однозначно.

Заключение. Персонифицированное тотальное эндопротезирование коленного сустава обеспечивает локальный опухолевый контроль и сохранение опорной функции конечности; результат лечения ограничивается системным прогрессированием болезни.

Ключевые слова: остеосаркома, собаки, тотальное эндопротезирование, коленный сустав, индивидуальный имплантат, органосохраняющее лечение, онкоортопедия, функциональные исходы, осложнения, выживаемость

Для цитирования: Корнюшенков Е.А., Гаранин Д.В., Баулин Н.С. Тотальное эндопротезирование индивидуальными имплантатами коленного сустава у собак при остеосаркоме: клинические результаты и функциональные исходы. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 17–26.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-17-26

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-17-26

Evgeniy A. Kornyushenkov[1] ✉

Dmitry V. Garanin[1]

Nikita S. Baulin[1,2]

[1] Veterinary Oncological Research Center "Biocontrol", Moscow, Russia

[2] Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

✉ *evg-kornyushenkov@yandex.ru*

Received by the editorial office: 22.05.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

© Kornyushenkov E.A., Garanin D.V., Baulin N.S.

Total knee arthroplasty with custom implants for osteosarcoma in dogs: clinical results and functional outcomes

ABSTRACT

Aim. To assess the clinical and functional outcomes of custom total knee arthroplasty in dogs with osteosarcoma of the distal femur.

Materials and methods. A retrospective series of three clinical cases (2021–2025). All patients received preoperative cisplatin chemotherapy, and two of the three also received preoperative radiotherapy. Wide segmental resection of the distal femur was performed, with reconstruction of the defect using a custom endoprosthesis manufactured from computed tomography data by additive technologies.

Results. Resection within histologically normal tissue (R0) was achieved in two patients; in one patient, focal tumor growth was detected in the bone marrow biopsy taken from the osteotomy site, corresponding to R1 status. No local recurrence at the resection site was recorded in any case, with follow-up periods of 4, 12 and 19 months. Limb weight-bearing function was restored in all patients. Complications comprised arthrofibrosis in one patient, requiring revision surgery. Distant metastases were first detected in all three patients 3.2–4 months after surgery; in patient 3, an additional osteolytic lesion of the tibia was identified at 8.5 months, the mechanism of origin of which could not be determined unequivocally.

Conclusion. Custom total knee arthroplasty provides local tumor control and preserves the weight-bearing function of the limb; the treatment outcome is limited by systemic disease progression.

Key words: osteosarcoma, dogs, total knee arthroplasty, stifle joint, custom implant, limb-sparing surgery, oncorthopedics, functional outcomes, complications, survival

For citation: Kornyushenkov E.A., Garanin D.V., Baulin N.S. Total knee arthroplasty with custom implants for osteosarcoma in dogs: clinical results and functional outcomes. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 17–26 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-17-26

Введение/Introduction

Остеосаркома занимает ведущее место в структуре первичных злокачественных новообразований скелета у собак, составляя, по различным данным, до 85% всех первичных костных опухолей [1, 2]. Заболевание характеризуется агрессивным локальным ростом с выраженной остеодеструкцией и ранним гематогенным метастазированием, преимущественно в легкие, что обусловливает неблагоприятный прогноз в отсутствие системной противоопухолевой терапии [1, 3].

Согласно данным, представленным Withrow S.J., Vail D.M., Page R.L., медиана продолжительности жизни собак с аппендикулярной остеосаркомой после изолированного хирургического лечения не превышает 4–5 месяцев, тогда как применение мультимодального подхода, включающего адъювантную химиотерапию, позволяет увеличить данный показатель до 10–12 месяцев [1]. Современные консенсусные рекомендации подчеркивают, что широкое хирургическое удаление первичной опухоли является основой локального контроля, тогда как системная противоопухолевая терапия необходима в связи с высоким риском метастатического прогрессирования [2].

Органосохраняющие операции в ветеринарной онкоортопедии рассматриваются в качестве альтернативы ампутации конечности при условии возможности выполнения резекции с адекватными хирургическими границами. Современные данные показывают, что при тщательном отборе пациентов органосохраняющие вмешательства способны обеспечивать локальный контроль опухолевого процесса и сохранение функции конечности, а показатели выживаемости могут быть сопоставимы с ампутацией [4]. Вместе с тем, выполнение подобных операций сопряжено с необходимостью реконструкции обширных костно-суставных дефектов.

На предшествующих этапах развития онкоортопедии для восполнения дефектов, формирующихся после резекции, применялись аллотрансплантаты, экстракорпорально облученные аутореплантаты, а также артродезирование суставов. Для реконструкции дефектов после опухолевой резекции применялись кортикальные аллотрансплантаты, эндопротезы и другие органосохраняющие методики. В проспективном исследовании Liptak J.M., Dernell W.S., Ehrhart N., Lafferty M.H., Monteith G.J., Withrow S.J. кортикальный аллотрансплантат и эндопротез продемонстрировали сопоставимые хирургические и онкологические результаты; среди оцениваемых осложнений отмечались послеоперационная инфекция и несостоятельность конструкции [5]. В медицинской онкоортопедии Peel T., May D., Buising K., Thursky K., Slavin M., Choong P. также продемонстрировали существенную частоту инфекционных осложнений после операций с применением опухолевых эндопротезов [6].

Развитие технологий персонифицированного эндопротезирования явилось закономерным этапом эволюции органосохраняющего лечения. В медицинской онкоортопедии эндопротезирование дистального отдела бедренной кости рассматривается в качестве стандарта реконструкции после опухолевых резекций, обеспечивающего возможность ранней осевой нагрузки и удовлетворительные функциональные результаты [7, 8]. В ветеринарной практике опыт применения аналогичных подходов остается ограниченным, что и определило цель настоящего исследования.

Актуальность работы обусловлена несколькими взаимосвязанными факторами. Отмечается неуклонный рост заболеваемости остеосаркомой в популяции собак, что связано как с увеличением продолжительности жизни домашних животных, так и с расширением возможностей ранней диагностики [1, 3]. Существующие стандарты лечения, базирующиеся преимущественно на ампутации конечности в сочетании с адъювантной химиотерапией, не решают проблему радикального излечения. Несмотря на удовлетворительную адаптацию многих животных после ампутации, потеря конечности сопровождается стойким изменением биомеханики передвижения и перераспределения нагрузки на оставшиеся конечности, особенно у собак крупных пород [1, 9, 10]. Это обосновывает необходимость развития и применения альтернативных органосохраняющих подходов [2, 4]. Динамичное развитие аддитивных технологий, компьютерного моделирования и биоматериаловедения открыло принципиально новые возможности для создания персонифицированных эндопротезов, адаптированных к индивидуальным анатомическим особенностям конкретного пациента [4]. Вместе с тем, данные о применении персонифицированного тотального эндопротезирования коленного сустава при остеосаркоме у собак остаются ограниченными, что затрудняет оценку клинической эффективности, биомеханической состоятельности и онкологической безопасности методики [4]. Сохранение функциональности конечности и качества жизни пациента является важной задачей органосохраняющего лечения.

Таким образом, комплекс указанных обстоятельств формирует научно-практическую потребность в систематическом изучении клинических и функциональных результатов применения персонифицированного тотального эндопротезирования коленного сустава у собак с остеосаркомой как альтернативы традиционным органосохраняющим методикам и ампутации, что определяет высокую актуальность настоящего исследования.

Цель исследования — оценка клинических и функциональных результатов применения персонифицированного тотального эндопротезирования коленного сустава у собак при остеосаркоме.

Материал и методы исследования / Material and methods

Работа выполнена в формате ретроспективного анализа серии клинических наблюдений. Изучены медицинские карты и база данных пациентов, проходивших лечение в период с октября 2021 года по март 2025 года в ветеринарном онкологическом научном центре «Биоконтроль» (Москва).

Все диагностические и лечебные мероприятия выполнялись по клиническим показаниям в рамках оказания ветеринарной помощи с соблюдением принципов гуманного обращения с животными[1]. Владельцами животных было получено информированное согласие на проведение диагностических и лечебных мероприятий, а также на использование обезличенных клинических данных в научных целях.

Критериями включения являлись: подтвержденный диагноз остеосаркомы в области дистального отдела бедренной кости, отсутствие отдаленных метастазов на момент первичного обращения, использование персонифицированного подвижного тотального эндопротеза в качестве замещения костного дефекта при органосохраняющей операции, наличие полного набора данных предоперационного обследования и послеоперационного наблюдения продолжительностью не менее 3 месяцев. Критерии исключения: наличие отдаленных метастазов (M1) на момент диагностики, патологический перелом, выраженный мягкотканный компонент опухоли с вовлечением магистральных сосудисто-нервных пучков, отказ владельцев от хирургического лечения или от последующего наблюдения.

В исследование включены 3 собаки:

- ✓ Пациент 1 — золотистый ретривер, самец, масса тела 38,5 кг, поражение дистального отдела левой бедренной кости;
- ✓ Пациент 2 — немецкий дог, самка, масса тела 48,2 кг, поражение дистального отдела левой бедренной кости;
- ✓ Пациент 3 — метис, самка, масса тела 28 кг, поражение дистального отдела правой бедренной кости.

Верификация диагноза во всех случаях проведена на основании гистологического исследования биопсийного материала, полученного до начала лечения. Индивидуальные характеристики пациентов и результаты лечения приведены в таблице 1.

Предоперационное обследование и стадирование

Всем пациентам выполнено комплексное предоперационное обследование, включавшее клинический и ортопедический осмотр, рентгенографию конечности с опухолевым поражением в двух проекциях и грудной клетки, компьютерную томографию (КТ) грудной клетки и конечности с опухолевым поражением, а также магнитно-резонансную томографию (МРТ) данной конечности. Исследование грудной клетки проводили с целью исключения легочных метастазов, а КТ и МРТ конечности — для оценки локальной распространенности опухолевого процесса, определения его

Таблица 1. **Характеристика пациентов, объем резекции и результаты лечения**
Table 1. **Patient characteristics, extent of resection, and treatment outcomes**

Показатель	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3
Порода, пол	Золотистый ретривер, самец	Немецкий дог, самка	Метис, самка
Масса тела, кг	38,5	48,2	28
Локализация	Дистальный отдел левой бедренной кости	Дистальный отдел левой бедренной кости	Дистальный отдел правой бедренной кости
Максимальные размеры опухолевого поражения по КТ с учетом мягкотканного компонента, (длина х ширина х высота), мм	79 × 45 × 41	130 × 50 × 55	89 × 38 × 33
Длина резецированного фрагмента, мм	115	150	112
Расстояние от визуализируемой границы опухоли до планируемой линии резекции по данным КТ/МРТ, мм	21–23	20–25	21–22
Предоперационное лечение	Цисплатин, 2 введения	Цисплатин + ЛТ, СОД 20 Гр	Цисплатин + ЛТ, СОД 25 Гр
Статус края резекции	R0	R0	R1 (очаговый опухолевый рост в биоптате костного мозга)
Осложнения	Не зарегистрированы	Артрофиброз, ревизионное вмешательство через 2 месяца	Не зарегистрированы
Локальный рецидив	Нет	Нет	Нет
Отдаленные метастазы (срок)	Подвздошный лимфатический узел, 3,2 мес	Лёгкие, почки, лимфатический узел, селезёнка (по результатам вскрытия)	Лёгкие, 4 мес; большеберцовая кость той же конечности, 8,5 мес*
Функциональный результат эндопротезирования	отличный	удовлетворительный	отличный
Срок наблюдения / исход	12 мес, жив	4 мес, эвтаназия	19 мес, эвтаназия

Примечание: *Механизм происхождения очага в большеберцовой кости не установлен однозначно; наряду с истинным отдаленным метастазированием нельзя исключить скип-метастазирование или имплантационное опухолевое обсеменение.

[1] Федеральный закон от 27 декабря 2018 г. № 498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», ст. 4, 11.

протяженности и предоперационного планирования. Дополнительно выполняли ультразвуковое исследование (УЗИ) брюшной полости для оценки состояния внутренних органов и выявления возможных абдоминальных метастазов.

Стадирование заболевания проводилось в соответствии с клинической классификацией TNM; дополнительно для характеристики распространенности опухолевого процесса использовали систему хирургического стадирования Enneking W.F. *и др.* [11]. У всех включенных в исследование пациентов отдаленные метастазы на момент первичного обращения не выявлены; опухоли характеризовались высокой степенью злокачественности и экстракомпартментным распространением, что соответствует стадии IIB по системе Enneking. Дополнительно выполнялось лабораторное исследование крови для оценки функционального состояния жизненно важных органов и исключения противопоказаний к общей анестезии и хирургическому вмешательству.

Предоперационное планирование и изготовление эндопротеза

По данным спиральной компьютерной томографии пораженного сегмента с толщиной среза 0,5–1,0 мм оценивали протяженность опухолевого поражения и выполняли необходимые линейные измерения (рис. 1).

На основании полученных данных проводилось построение трехмерной цифровой модели с сегментацией костных структур и зоны опухолевого поражения (рис. 2). На основании полученной трехмерной модели выполнялось виртуальное планирование резекции с определением уровня остеотомии, обеспечивающее удаление опухоли в пределах морфологически здоровых тканей. Индивидуальный тотальный эндопротез коленного сустава изготавливался с использованием аддитивных технологий из титанового сплава; его цифровая модель представлена на рис. 2, интраоперационный вид — на рис. 3. Принципы сегментарного замещения дистального отдела бедренной кости при проектировании эндопротеза основывались на подходах, применяемых в медицинской онкоортопедии [7].

Предоперационное противоопухолевое лечение

Все пациенты до операции получали химиотерапию цисплатином в разовой дозе 60 мг/м² внутривенно. Пациент 1 — 2 введения с интервалом 21 день, пациенты 2 и 3 — 1 введение. Двум пациентам дополнительно проводилась предоперационная лучевая терапия: пациенту 2 — разовая очаговая доза 5 Гр, 4 фракции, суммарная очаговая доза 20 Гр; пациенту 3 — разовая очаговая доза 5 Гр 3 раза в неделю, суммарная очаговая доза 25 Гр. Лучевую терапию оба пациента перенесли удовлетворительно, отмечен анальгетический эффект с улучшением опороспособности конечности и стабилизацией локального опухолевого процесса.

Рис. 1. Компьютерная томография коленного сустава. Остеолитическая деструкция дистального отдела бедренной кости с истончением и разрушением кортикальных пластин, слабо выраженная периостальная реакция, распространение опухоли по костномозговому каналу проксимально. Красными линиями обозначены длина бедренной кости (198,89 мм) и протяженность зоны поражения дистального отдела бедренной кости (78,41 мм)

Fig. 1. Computed tomography scan of the knee joint. Osteolytic destruction of the distal femur with thinning and disruption of the cortical bone, mild periosteal reaction, and proximal extension of the tumor along the medullary canal. The red lines indicate the femoral length (198.89 mm) and the extent of the lesion in the distal femur (78.41 mm)

Рис. 2. Виды индивидуального эндопротеза, разработанного в ВОНЦ «Биоконтроль»: a — краниальный вид; b — латеральный вид

Fig. 2. Custom-made endoprosthesis developed at the Veterinary Oncological Research Center “Biocontrol”: a — cranial view; b — lateral view

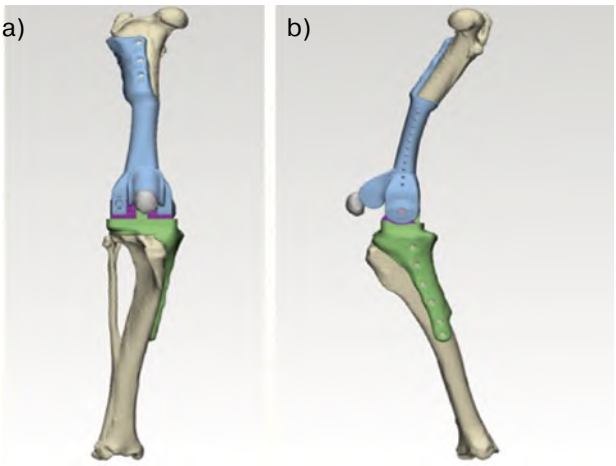


Рис. 3. Вид индивидуального эндопротеза интраоперационно, разработанного в ВОНЦ «Биоконтроль» (фото авторов)

Fig. 3. Intraoperative view of the custom-made endoprosthesis developed at the Veterinary Oncological Research Center “Biocontrol” (photograph by the authors)

Хирургическое лечение

Оперативное вмешательство выполняли в условиях общей анестезии и эндотрахеальной интубации с применением комбинированного протокола обезболивания. Использовали латеральный доступ к дистальному отделу бедренной кости с рассечением фасций и отведением разгибателей. Выполняли артротомию, менискэктомию, удаление крестообразных связок, после чего по индивидуальным направителям производили остеотомию дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой кости в пределах здоровых тканей; величину отступа определяли на основе данных КТ и МРТ (рис. 4).

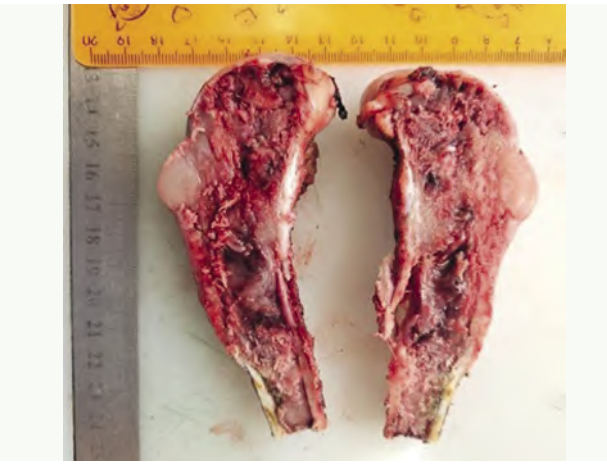
Из области остеотомии интраоперационно брали биоптаты костного мозга для гистологического исследования. Дефект замещали индивидуальным эндопротезом, который фиксировали к бедренной и большеберцовой костям винтами с угловой стабильностью диаметром 3,5 мм (пациенты 1 и 3) и 5 мм (пациент 2). Сухожилие общего разгибателя пальцев фиксировали к фасции мышц, отдельно выполняли фиксацию надколенника. После гемостаза рану ушивали послойно.

Послеоперационный период

В раннем послеоперационном периоде проводилась антибиотикотерапия широкого спектра, анальгезия (мультимодальная схема с применением опиоидов, НПВП и местных анестетиков) и профилактика тромбоэмболических осложнений. Активизация пациентов начиналась с первых суток после операции (пассивные движения, затем — дозированная нагрузка на конечность с использованием поддерживающих приспособлений). Реабилитационная программа включала физиотерапевтические процедуры (высокоинтенсивный лазер, магнитотерапия) и кинезиотерапию в течение 4–6 недель после операции. В раннем послеоперационном периоде для купирования болевого синдрома и контроля воспалительной реакции всем пациентам назначали нестероидный противовоспалительный препарат «Фироко®» (фирококсиб)[2] в дозе 5 мг/кг массы тела один раз в сутки перорально после кормления (ГК ВИК, Россия). Выбор препарата обусловлен его фармакологическим профилем: фирококсиб является селективным ингибитором циклооксигеназы-2 (ЦОГ-2), что обеспечивает выраженное анальгетическое и противовоспалительное действие при минимальном влиянии на продукцию простагландинов, регулирующих почечный кровоток и целостность слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта. Согласно инструкции по ветеринарному применению лекарственного препарата «Фироко®» (фирококсиб), после перорального введения препарат быстро всасывается; максимальная концентрация в крови достигается через 1,25 часа, период полувыведения составляет около 8 часов.

Рис. 4. Препарат удаленной опухоли после широкой сегментарной резекции кости и вертикального распила. Видны деструкция губчатой кости и мягкотканный компонент, распространяющийся по костномозговому каналу проксимально (фото авторов)

Fig. 4. Resected tumor specimen following wide segmental bone resection and vertical sectioning. Destruction of the cancellous bone and a soft-tissue component extending proximally along the medullary canal are visible (photograph by the authors)



Длительность применения фирококсиба в составе мультимодальной анальгезии составляла первые 5 суток после операции в соответствии с рекомендациями по контролю послеоперационной боли при ортопедических вмешательствах. Протокол анальгезии также включал опиоидные анальгетики в интраоперационном и раннем послеоперационном периоде, а также местные анестетики для блокады операционного поля. При сохранении болевого синдрома после завершения курса фирококсиба допускалось назначение препарата по потребности, однако в представленной серии случаев необходимости в продлении курса не возникло. Противопоказаний к применению фирококсиба у включенных пациентов (в том числе тяжелой почечной или печеночной недостаточности, желудочно-кишечных кровотечений) не выявлено.

Оценка результатов лечения проводилась в сроки 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции, а затем ежегодно, на основании клинического осмотра и инструментальных методов (рентгенография пораженной конечности и грудной клетки, компьютерная томография). Раздельно оценивали: локальный контроль — отсутствие рецидива опухоли в зоне резекции; безрецидивную выживаемость по локальному рецидиву — время от операции до выявления местного рецидива; метастаз-свободный период — время от операции до выявления первого отдаленного метастатического очага; общую выживаемость — время от операции до гибели пациента от любой причины. Наблюдения пациентов, живых на момент завершения исследования, цензурировали по дате последнего осмотра.

[2] Инструкция по ветеринарному применению лекарственного препарата Фироко® (фирококсиб). Регистрационное удостоверение №ПВР-3-28.23/03894. ООО «ВИК-здоровье животных», Россия.

В онкоортопедии для функциональной оценки результатов реконструктивных вмешательств применяются балльные системы, в том числе система Enneking W.F. *и др.* [12]. В настоящем исследовании функциональный исход определяли с использованием авторской ортопедической шкалы, разработанной Корнюшенковым Е.А., Гараниным Д.В. и Баулиным Н.С. (таблица 2). Оценивали два параметра: выраженность болевого синдрома и функцию конечности, каждый по шкале от 0 до 5 баллов. Хромоту учитывали в составе оценки функции конечности. Баллы по двум параметрам суммировали; максимальная суммарная оценка составляла 10 баллов. Итоговый результат переводили в проценты по формуле: (сумма баллов / 10) ×100. Функциональный результат эндопротезирования оценивали отдельно от онкологического исхода заболевания; онкологический исход и продолжительность наблюдения представлены в таблице 1 отдельно.

Функциональный результат оценивали по суммарному количеству баллов: 90–100% (9–10 баллов) — отличный результат, соответствующий восстановлению полноценной опороспособности с незначительной хромотой при активной нагрузке; 70–89% (7–8 баллов) — хороший результат, характеризующийся стабильной хромотой, не ограничивающей повседневную активность; 50–69% (5–6 баллов) — удовлетворительный результат при сохранении выраженной хромоты и ограничении подвижности; 30–49% (3–4 балла) — плохой результат, характеризующийся редким использованием конечности; 0–29% (0–2 балла) — неудовлетворительный результат при невозможности использовать конечность для опоры.

Послеоперационные осложнения

Для систематизации послеоперационных осложнений использовали разработанную авторами в ВОНЦ «Биоконтроль» ветеринарную адаптацию классификации осложнений после органосохраняющих операций Henderson E.R. *и др.* [8, 13]. В адаптированной классификации сохранено базовое разделение осложнений на пять типов, при этом клинические критерии, система подтипов и временные интервалы модифицированы авторами с учетом особенностей ветеринарных пациентов и применяемого метода эндопротезирования (таблица 3).

Согласно данной классификации осложнения подразделяются на механические (типы I–III) и немеханические (типы IV–V). К механическим относятся мягкотканные осложнения, асептическая нестабильность и нарушение целостности конструкции эндопротеза или кости; к немеханическим — инфекционные осложнения и прогрессирование опухолевого процесса. В рамках каждого типа выделены подтипы A и B, различающиеся по характеру осложнений; для типов II и

Таблица 2. **Авторская шкала оценки ортопедического результата лечения при органосохраняющих операциях, разработанная Корнюшенковым Е.А., Гараниным Д.В., Баулиным Н.С.**

Table 2. **Authors' Scale for the Assessment of Orthopedic Treatment Outcomes Following Limb-Sparing Surgery, developed by Kornyushenkov E.A., Garanin D.V., Baulin N.S.**

Балл (за каждый параметр)	Параметр	
	Боль (Pain)	Функция конечности
5 баллов (отлично)	Не проявляет боли	Полное использование конечности
4 балла (хорошо)	Незначительная боль при нагрузке, не требует терапии	Лёгкая хромота (механическая хромота), не ограничивает активность
3 балла (удовл.)	Умеренная боль, контролируется НПВС	Частичная опора, хромота выражена
2 балла (плохо)	Выраженная боль, требует применения НПВС и опиоидов	Редкое использование конечности
1 балл (очень плохо)	Сильная боль, недостаточно контролируемая стандартной анальгезией, требующая применения сильных опиоидов	Конечность практически не используется для опоры; возможны единичные эпизоды опоры
0 баллов (крайне плохо)	Крайне выраженная, практически некупируемая боль, сохраняющаяся несмотря на интенсивную анальгетическую терапию	Полное отсутствие опоры на конечность, полная утрата функции конечности

Таблица 3. **Авторская ветеринарная адаптация классификации осложнений при органосохраняющих операциях Henderson E.R. *и др.*, разработанная Корнюшенковым Е.А., Гараниным Д.В., Баулиным Н.С.**

Table 3. **Authors' Veterinary Adaptation of the Henderson *et al.* Classification of Complications Following Limb-Sparing Surgery, developed by Kornyushenkov E.A., Garanin D.V., Baulin N.S.**

Типы осложнений		Механические осложнения			Немеханические осложнения	
		Мягкотканные осложнения Тип I	Асептическая нестабильность	Разрушение конструкции эндопротеза, разрушение кости	Инфекция	Прогрессирование опухоли
		Тип II	Тип III	Тип IV	Тип V	
Подтип осложнений	A	Нестабильность фиксации сустава (вывих), разрыв мягких тканей, недостаточность разгибателей	Ранняя асептическая нестабильность (до 6 месяцев, включительно)	Разрушение, износ, поломка отдельных элементов эндопротеза, перелом ножки эндопротеза	Ранняя инфекция эндопротеза (до 3 месяцев после операции, включительно)	Рецидив в кости
	B	Асептический диастаз послеоперационной раны, формирование рубцовой ткани	Поздняя асептическая нестабильность (более 6 месяцев)	Периротезный перелом кости	Поздняя инфекция эндопротеза (более 3 месяцев после операции)	Рецидив в мягких тканях

IV разграничение подтипов также учитывает сроки их возникновения.

Ввиду малого числа наблюдений (n = 3) данные представлены индивидуально по каждому пациенту. Расчет средних значений, медиан и относительных частот, равно как и статистический анализ, не проводился; частота событий приводится в абсолютных числах.

Результаты и обсуждение / **Results and discussion**

Характеристика опухолевого процесса и радикальность резекции. Размеры опухолевого очага по данным компьютерной томографии составили 79 × 45 × 41 мм у пациента 1 и 89 × 38 × 33 мм у пациента 3; у пациента 2 — 130 × 50 × 240 мм. Длина резецированного фрагмента составила 115, 150 и 112 мм соответственно; расстояние от визуализируемой границы опухоли до планируемой линии резекции по данным КТ и МРТ составило 21–23, 20–25 и 21–22 мм у пациентов 1, 2 и 3 соответственно.

У двух пациентов хирургические края резекции и биоптаты костного мозга из области остеотомии были свободны от опухолевого роста, что соответствует статусу R0. У пациента 3, несмотря на запланированный по данным КТ и МРТ отступ 21–22 мм от визуализируемой границы опухоли, при гистологическом исследовании биоптата костного мозга из проксимального отдела бедренной кости выявлен очаговый опухолевый рост, что соответствует статусу R1; повторная резекция не выполнялась. В послеоперационном периоде пациент получал системную химиотерапию.

Хирургические осложнения зарегистрированы у 1 пациента, тип IB по классификации послеоперационных осложнений ВОНЦ «Биоконтроль». У пациента 2 через 2 месяца после операции ограничение экстензии, обусловленное артрофиброзом, потребовало ревизионного вмешательства: при операционной ревизии эндопротез был стабилен, каудальнее имплантата определялось значительное количество фиброзной ткани, препятствующей полноценному разгибанию; выполнено частичное иссечение фиброзной ткани с остеотомией бугристости большеберцовой кости и последующей ее фиксацией; при гистологическом и бактериологическом исследовании иссеченных тканей опухолевого роста и роста микрофлоры не получено. У пациентов 1 и 3 хирургических осложнений не зарегистрировано. Инфекционных осложнений в области хирургического вмешательства, признаков асептической нестабильности и механической несостоятельности эндопротезов в исследованной группе не зарегистрировано.

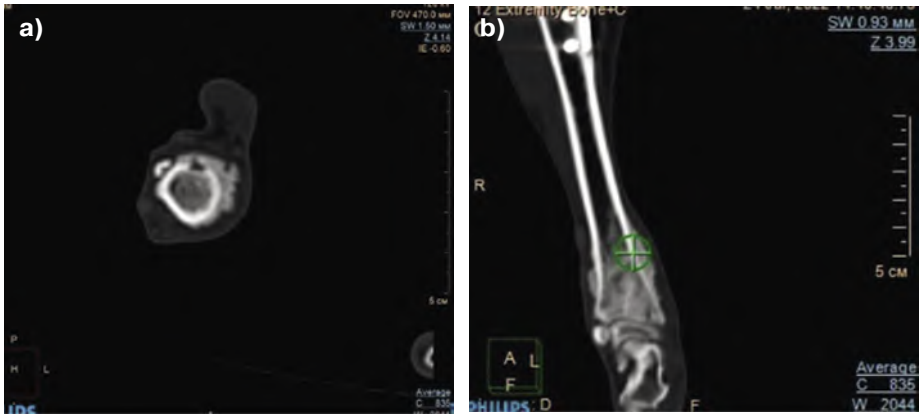
В ходе динамического наблюдения признаков локального рецидивирования опухолевого процесса в зоне выполненной резекции не зафиксировано ни в одном случае при сроках наблюдения 4, 12 и 19 месяцев. Вместе с тем отдаленные метастазы развились у всех трех пациентов. У пациента 1 через 3,2 месяца после операции при контрольной компьютерной томографии выявлена подвздошная лимфаденопатия; выполнена лимфаденэктомия, при гистологическом исследовании подтвержден метастаз злокачественной опухоли, после чего протокол системной терапии был изменен. У пациента 2 при патологоанатомическом вскрытии выявлено диссеминированное метастатическое поражение легких, обеих почек, парааортального лимфатического узла и, предположительно, селезенки. У пациента 3 метастатическое поражение легких выявлено через 4 месяца после операции; через 8,5 месяца на фоне появившейся хромоты был выявлен очаг остеолитической деструкции в дистальном отделе большеберцовой кости оперированной конечности, расцененный как опухолевое поражение и визуализируемый на КТ в аксиальной и сагиттальной плоскостях (рис. 5). С учетом локализации очага в костях той же оперированной конечности его происхождение не может быть определено однозначно. Наряду с истинным отдаленным метастазированием нельзя исключить скип-метастазирование или имплантационное опухолевое обсеменение; ретроспективный характер наблюдения не позволяет достоверно дифференцировать указанные механизмы.

С паллиативной целью проведена лучевая терапия на область очага (разовая очаговая доза 5 Гр, 5 фракций, суммарная очаговая доза 25 Гр) с выраженным анальгетическим эффектом и уменьшением хромоты; при возобновлении болевого синдрома через два месяца курс был повторен.

Оценка функционального состояния прооперированной конечности проводилась по авторской

Рис. 5. Компьютерная томография дистального отдела большеберцовой кости. Очаг остеолитической деструкции: a — аксиальный срез; b — сагиттальный срез

Fig. 5. Computed tomography images of the distal tibia. Osteolytic lesion: a — axial plane; b — sagittal plane



ортопедической шкале, приведенной в таблице 2, с учетом выраженности болевого синдрома и функции конечности. Опороспособность оперированной конечности восстановлена у всех трех пациентов. Функциональный результат эндопротезирования расценен как отличный у пациентов 1 и 3 и как удовлетворительный у пациента 2. Функциональный результат оценивали независимо от онкологического исхода заболевания; сроки наблюдения и исходы пациентов представлены в таблице 1. Ограничение функции у пациента 2 было связано с развитием артрофиброза, у пациента 3 — с болевым синдромом на фоне опухолевого поражения большеберцовой кости оперированной конечности, с выраженным купированием болевого синдрома на фоне лучевой терапии.

Общая выживаемость составила 4 месяца у пациента 2 и 19 месяцев у пациента 3; пациент 1 жив на момент завершения наблюдения, срок наблюдения составил 12 месяцев. Причиной эвтаназии у пациента 2 послужило нарастание болевого синдрома на фоне диссеминированного метастатического процесса, у пациента 3 — дыхательная недостаточность, обусловленная прогрессированием метастатического поражения легких. Таким образом, во всех наблюдениях продолжительность жизни определялась системным прогрессированием заболевания: первые отдаленные метастазы были выявлены у всех трех пациентов в сроки от 3,2 до 4 месяцев после операции. У пациента 3 через 8,5 месяца дополнительно выявлен очаг остеолитической деструкции в большеберцовой кости, механизм происхождения которого не был установлен однозначно.

Выявление опухолевых клеток в биоптате костного мозга из области остеотомии при интактных хирургических границах резекции отражает известную сложность оценки продольного распространения остеосаркомы по костномозговому каналу, особенно бедренной кости: рентгенологические границы очага систематически уступают истинной протяженности поражения. Отсюда следует практическое требование при планировании органосохраняющей операции: уровень остеотомии целесообразно рассчитывать с оценкой костномозгового канала по данным не только компьютерной томографии, но и МРТ конечности. Выявление статуса R1 требует рассмотрения вопроса о дальнейшем противоопухолевом лечении с учетом распространенности опухолевого процесса и клинической ситуации. В представленном наблюдении пациент 3 получал системную химиотерапию; лучевая терапия впоследствии применялась с паллиативной целью на область опухолевого очага в большеберцовой кости.

Артродез коленного сустава и ампутация конечности в настоящей серии не применялись. Данные о них приводятся по литературным источникам — для обозначения места эндопротезирования среди существующих вариантов хирургического лечения и обоснования выбора реконструктивной методики, но не в качестве сравнения с полученными нами результатами.

Артродез коленного сустава рассматривается как вариант сохранения конечности в случаях, когда восстановление нормальной подвижности сустава невозможно. В ретроспективной серии Cofone M.A., Smith G.K., Lenehan T.M., Newton C.D. после одностороннего артродеза функция конечности была оценена как хорошая у трех собак, удовлетворительная у трех и плохая у одной; на функциональный результат влияли, в частности, угол артродеза и состояние ипсилатерального тазобедренного сустава [14]. В исследовании Petazzoni M., Nicetto T. все шесть артродезов достигли сращения, однако у всех пациентов сохранялась механическая хромота [15]. Современный обзор данных по органосохраняющим вмешательствам у собак также указывает на возможность выраженного функционального ограничения после артродеза коленного сустава, в том числе при опухолевом поражении дистального отдела бедренной кости [16].

Ампутация конечности остается наиболее распространенным методом хирургического лечения остеосаркомы у собак. По данным Carberry C.A., Harvey H.J., владельцы в целом положительно оценивали адаптацию животных после ампутации [9]. Вместе с тем объективное исследование Kirpensteijn J., van den Bos R., van den Brom W.E., Hazewinkel H.A.W. у собак крупных пород выявило после ампутации значимые изменения опорных реакций, импульсов и времени контакта оставшихся конечностей, а также смещение центра тяжести, что свидетельствует о выраженной перестройке биомеханики передвижения [10].

В отличие от артродеза и ампутации, тотальное эндопротезирование коленного сустава направлено на сохранение подвижности сегмента и восстановление максимально физиологичной биомеханики. В медицинской онкоортопедии Myers G.J.C. *и др.* представили долгосрочные результаты эндопротезирования дистального отдела бедренной кости после опухолевых резекций и показали, что совершенствование конструкции эндопротезов позволяет снижать потребность в ревизионных вмешательствах [7]. Henderson E.R. *и др.* выделили пять основных типов несостоятельности опухолевых эндопротезов: мягкотканные осложнения, асептическую нестабильность, структурную несостоятельность, инфекцию и прогрессирование опухолевого процесса [8].

Развитие артрофиброза у одного пациента представленной серии, потребовавшее ревизионного вмешательства, может быть объяснено механизмами, описанными в работах Cheuy V.A., Foran J.R.H., Paxton R.J., Bade M.J., Zeni J.A., Stevens-Lapsley J.E., где подчеркивается роль хирургической травмы, гематомы и хронического воспаления в формировании фиброзных контрактур после эндопротезирования суставов [17]. Frangogiannis N.G. указывает на ключевую роль

TGF-β-опосредованных процессов в развитии послеоперационного фиброза, что подтверждает необходимость ранней реабилитации и адекватного контроля воспаления [18]. Дополнительным фактором риска в настоящей серии могла выступать предоперационная лучевая терапия.

Таким образом, представленные клинические наблюдения согласуются с данными ветеринарной и медицинской литературы и подтверждают, что персонифицированное тотальное эндопротезирование коленного сустава может рассматриваться как перспективный вариант органосохраняющего лечения у тщательно отобранных собак с остеосаркомой.

Выводы/Conclusion

Проведенный анализ трех клинических наблюдений демонстрирует, что тотальное эндопротезирование коленного сустава индивидуальными имплантатами у собак с остеосаркомой технически выполнимо и позволяет достичь локального опухолевого контроля: рецидив в зоне резекции не зарегистрирован ни у одного пациента при сроках наблюдения 4, 12 и 19 месяцев, опороспособность конечности восстановлена во всех случаях. Радикальность R0 достигнута у 2 из 3 пациентов; у одного пациента выявлен положительный интрамедуллярный край резекции, у него же в дальнейшем был выявлен очаг остеолитической деструкции в большеберцовой кости оперированной конечности, происхождение которого не было установлено однозначно. Продолжительность жизни определялась системным прогрессированием заболевания: первые отдаленные метастазы были выявлены у всех трех пациентов в сроки от 3,2 до 4 месяцев после операции; у пациента 3 через 8,5 месяца дополнительно выявлен очаг остеолитической деструкции в большеберцовой кости, происхождение которого не было установлено однозначно. Артрофиброз зарегистрирован у одного пациента и в одном случае потребовал ревизионного вмешательства, что подчеркивает значение ранней и последовательной реабилитации.

Сравнение эндопротезирования с ампутацией и артродезом в задачи настоящей работы не входило: обе методики в представленной серии не применялись, контрольная группа отсутствовала. Малое число наблюдений, разнородность пациентов по массе тела, возрасту и породе, а также различия в предоперационном противоопухолевом лечении ограничивают перенос полученных результатов на популяцию в целом. Многокомпонентный характер реконструкции, высокая стоимость имплантатов и необходимость мультимодальной реабилитации накладывают существенные ограничения на широкое внедрение методики в рутинную практику. Для определения места эндопротезирования в структуре органосохраняющего лечения остеосаркомы у собак необходимы проспективные исследования с большим числом пациентов, стандартизированными протоколами системной терапии и едиными шкалами оценки функционального исхода.

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. Withrow S.J., Vail D.M., Page R.L. (eds.). Withrow & MacEwen's Small Animal Clinical Oncology. 5th ed. *Saunders*. 2013; xvi, 750. ISBN 978-1-4377-2362-5 https://www.doi.org/10.1016/C2009-0-53135-2
2. Polton G. *et al.* Osteosarcoma of the appendicular skeleton in dogs: consensus and guidelines. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025; 12: 1633593. https://www.doi.org/10.3389/fvets.2025.1633593
3. Bielack S.S. *et al.* Prognostic Factors in High-Grade Osteosarcoma of the Extremities or Trunk: An Analysis of 1,702 Patients Treated on Neoadjuvant Cooperative Osteosarcoma Study Group Protocols. *Journal of Clinical Oncology*. 2002; 20(3): 776–790. https://www.doi.org/10.1200/JCO.2002.20.3.776
4. Borges R.S.d.M. *et al.* Surgical approaches to canine appendicular osteosarcoma part 2 — limb-sparing techniques. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025; 12: 1655874. https://www.doi.org/10.3389/fvets.2025.1655874
5. Liptak J.M., Dernell W.S., Ehrhart N., Lafferty M.H., Monteith G.J., Withrow S.J. Cortical Allograft and Endoprosthesis for Limb-Sparing Surgery in Dogs with Distal Radial Osteosarcoma: A Prospective Clinical Comparison of Two Different Limb-Sparing Techniques. *Veterinary Surgery*. 2006; 35(6): 518–533. https://www.doi.org/10.1111/j.1532-950X.2006.00185.x
6. Peel T., May D., Buising K., Thursky K., Slavin M., Choong P. Infective complications following tumour endoprosthesis surgery for bone and soft tissue tumours. *European Journal of Surgical Oncology*. 2014; 40(9): 1087–1094. https://www.doi.org/10.1016/j.ejso.2014.02.241
7. Myers G.J.C., Abudu A.T., Carter S.R., Tillman R.M., Grimer R.J. Endoprosthetic replacement of the distal femur for bone tumours: long-term results. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*. 2007; 89(4): 521–526. https://www.doi.org/10.1302/0301-620X.89B4.18631
8. Henderson E.R. *et al.* Failure Mode Classification for Tumor Endoprostheses: Retrospective Review of Five Institutions and a Literature Review. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2011; 93(5): 418–429. https://www.doi.org/10.2106/JBJS.J.00834
9. Carberry C.A., Harvey H.J. Owner satisfaction with limb amputation in dogs and cats. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 1987; 23(2): 227–232.
10. Kirpensteijn J., van den Bos R., van den Brom W.E., Hazewinkel H.A.W. Ground reaction force analysis of large breed dogs when walking after the amputation of a limb. *Veterinary Record*. 2000; 146(6): 155–159. https://www.doi.org/10.1136/vr.146.6.155
11. Enneking W.F., Spanier S.S., Goodman M.A. A System for the Surgical Staging of Musculoskeletal Sarcoma. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1980; 153: 106–120. https://doi.org/10.1097/00003086-198011000-00013
12. Enneking W.F., Dunham W., Gebhardt M.C., Malawar M., Pritchard D.J. A System for the Functional Evaluation of Reconstructive Procedures After Surgical Treatment of Tumors of the Musculoskeletal System. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1993; 286: 241–246. https://doi.org/10.1097/00003086-199301000-00035
13. Henderson E.R. *et al.* Classification of failure of limb salvage after reconstructive surgery for bone tumours. *The Bone & Joint Journal*. 2014; 96-B(11): 1436–1440. https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B11.34747
14. Cofone M.A., Smith G.K., Lenehan T.M., Newton C.D. Unilateral and Bilateral Stifle Arthrodesis in Eight Dogs. *Veterinary Surgery*. 1992; 21(4): 299–303. https://www.doi.org/10.1111/j.1532-950X.1992.tb00068.x
15. Petazzoni M., Nicetto T. Stifle arthrodesis using a locking plate system in six dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 2015; 28(4): 288–293. https://www.doi.org/10.3415/VCOT-14-08-0124
16. Altwal J., Séguin B. Surgical limb-sparing in veterinary medicine: A review of existing techniques in dogs. *Veterinary Surgery*. 2026; 55(2): 279–297. https://www.doi.org/10.1111/vsu.70072
17. Cheuy V.A., Foran J.R.H., Paxton R.J., Bade M.J., Zeni J.A., Stevens-Lapsley J.E. Arthrofibrosis Associated With Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*. 2017; 32(8): 2604–2611. https://www.doi.org/10.1016/j.arth.2017.02.005
18. Frangogiannis N.G. Transforming growth factor–β in tissue fibrosis. *Journal of Experimental Medicine*. 2020; 217(3): e20190103. https://www.doi.org/10.1084/jem.20190103

ОБ АВТОРАХ

Евгений Александрович Корнюшенков[1]
кандидат биологических наук, главный врач
evg-kornyushenkov@yandex.ru

Дмитрий Валентинович Гаранин[1]
кандидат биологических наук, ветеринарный врач, ведущий хирург отделения хирургии
dmi-garanin@yandex.ru

Никита Сергеевич Баулин[1, 2]
• ветеринарный врач, старший хирург отделения хирургии[1];
• аспирант[2]
baulinikita@yandex.ru

[1] Ветеринарный онкологический научный центр «Биоконтроль»,
Каширское шоссе, дом 24, стр. 10, Москва, 115522, Россия

[2] Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН),
ул. им. Миклухо-Маклая, дом 6, Москва, 117198, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy Aleksandrovich Kornyushenkov[1]
Candidate of Biological Sciences, Chief Veterinarian
evg-kornyushenkov@yandex.ru

Dmitry Valentinovich Garanin[1]
Candidate of Biological Sciences, Veterinarian, Lead Surgeon, Department of Surgery
dmi-garanin@yandex.ru

Nikita Sergeevich Baulin[1, 2]
• Veterinarian, Senior Surgeon, Department of Surgery[1];
• postgraduate student[2]
baulinikita@yandex.ru

[1] Veterinary Oncological Research Center “Biocontrol”,
24/10 Kashirskoye Shosse, Moscow, 115522, Russia

[2] Peoples’ Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University),
6 Miklukho-Maklay st., Moscow, 117198, Russia

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

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

Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (К1, К2), в список Russian Science Citation Index (RSCI), в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в ядро РИНЦ, «Белый список» ВАК РФ, в список периодических изданий Международной базы данных AGRIS (ГНУ 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

УДК 639.3:579.64:615.371

Научный обзор

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-27-41

М.Г. Маноян ✉

А.Н. Иванова

А.Н. Панин

А.В. Иванов

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

✉ *mycology@vgnki.ru*

Поступила в редакцию: 30.06.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

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

Вакцины и комплексная профилактика в аквакультуре (часть 2)

РЕЗЮМЕ

Во второй части научного обзора рассмотрены современные подходы к специфической иммунопрофилактике и построению комплексных программ предупреждения инфекционных болезней рыб. Систематизированы основные вакцинные платформы для аквакультуры: инактивированные, живые аттенуированные, субъединичные, рекомбинантные, ДНК-, РНК-, векторные и мукозальные вакцины. Проанализирован спектр бактериальных и вирусных мишеней, а также экспериментальные направления разработки вакцин против *Saprolegnia parasitica и Aphanomyces invadans.* Охарактеризованы инъекционный, иммерсионный и оральный пути введения, адъюванты, наночастичные и биологические системы доставки. Особое внимание уделено пробиотикам как иммунологическим и технологическим партнерам вакцинации: предвакцинальной подготовке, поствакцинальной поддержке, использованию пробиотических микроорганизмов как носителей антигенов и включению обоих инструментов в сезонные схемы профилактики. Рассмотрены требования к безопасности, регуляторной оценке и доказательности. Предложена практическая модель комплексной профилактики, объединяющая аудит риска, диагностику, биобезопасность, вакцинацию, управление микробиотой, кормление и мониторинг эффективности. Показано, что максимальный профилактический эффект достигается не противопоставлением вакцин и пробиотиков, а их рациональной интеграцией с технологическим управлением хозяйством.

Ключевые слова: аквакультура, вакцины, рыбы, иммунопрофилактика, мукозальные вакцины, ДНК-вакцины, бактериальные инфекции, вирусные болезни рыб, микозы рыб, оомикозы, *Saprlegnia, Aphanomyces invadans*, пробиотики, биобезопасность

Для цитирования: Маноян М.Г., Иванова А.Н., Панин А.Н., Иванов А.В. Вакцины и комплексная профилактика в аквакультуре (часть 2). *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 27–41. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-27-41

Rewiev

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-27-41

Marina G. Manoyan ✉

Anna N. Ivanova

Alexander N. Panin

Arkadiy V. Ivanov

All-Russian State Center for Quality and Standardization of Medicines for Animals and Feed, Moscow, Russia

✉ *mycology@vgnki.ru*

Received by the editorial office: 30.06.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

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

Vaccines and integrated prevention in aquaculture (Part 2)

ABSTRACT

The second part of this review addresses current approaches to specific immunoprophylaxis and the design of integrated programs for preventing infectious diseases in fish. Major vaccine platforms used or investigated in aquaculture are systematized, including inactivated, live attenuated, subunit, recombinant, DNA, RNA, vector-based and mucosal vaccines. Bacterial and viral targets are analyzed together with experimental strategies aimed at Saprolegnia parasitica and Aphanomyces invadans. Injection, immersion and oral delivery routes are discussed, as well as adjuvants, nanoparticles and biological antigen-delivery systems. Particular attention is given to probiotics as immunological and technological partners of vaccination, including pre-vaccination conditioning, post-vaccination support, probiotic microorganisms as antigen carriers, and combined seasonal prevention schemes. Safety requirements, regulatory considerations and evidence-based assessment are reviewed. A practical model of integrated prevention is presented, combining risk audit, diagnostics, biosecurity, vaccination, microbiota management, nutrition and outcome monitoring. The analysis shows that the strongest preventive effect is achieved not by opposing vaccines and probiotics, but by integrating pathogen-specific immunization with microbiota-oriented and technology-based interventions tailored to the production system.

Key words: aquaculture, vaccines, fish, immunoprophylaxis, mucosal vaccines, DNA vaccines, bacterial infections, viral fish diseases, fungal diseases of fish, oomycete infections, *Saprolegnia, Aphanomyces invadans*, probiotics, biosecurity

For citation: Manoyan M.G., Ivanova A.N., Panin A.N., Ivanov A.V. Vaccines and integrated prevention in aquaculture (Part 2). *Agrarian science.* 2026; 410(09): 27–41 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-27-41

Введение/Introduction

В этом номере журнала представлена вторая часть научного обзора «Вакцины и комплексная профилактика в аквакультуре» (первая часть опубликована в № 8 за 2026 г. журнала «Аграрная наука) [1].

В первой части обзора были рассмотрены пробиотики как инструмент неспецифической профилактики инфекционных болезней рыб, поддержания микробиоты, барьерных тканей и технологической устойчивости системы выращивания. Показано, что их профилактический потенциал реализуется преимущественно через снижение инфекционного давления и повышение общей резистентности, но не заменяет антиген-специфическую защиту против экономически значимых возбудителей.

Настоящая часть посвящена специфической иммунопрофилактике — вакцинам для аквакультуры, их платформам, мишеням и технологиям введения, а также возможностям интеграции вакцинации с пробиотической поддержкой, биобезопасностью, диагностикой и управлением производственными рисками. Особое внимание уделяется бактериальным и вирусным инфекциям, экспериментальным вакцинным подходам против грибковых и оомицетных заболеваний, безопасности, регуляторным аспектам и практической модели комплексной профилактики.

Материал и методы исследования / Material and methods

Методологическая основа обзора и общие критерии отбора источников изложены в первой части работы в журнале «Аграрная наука» №8 за 2026 год [1].

Для сбора материалов во вторую часть обзора был проведен поиск в марте — июне 2026 года (последний сеанс — 30 июня) в базах PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science Core Collection, Google Scholar, CAB Abstracts и Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts. Кроме того, вручную были просмотрены библиографические списки ключевых обзоров и получены консультации специалистов, чтобы обнаружить работы, которые могли быть пропущены при автоматическом поиске.

Запросы формулировали на английском и русском языках, используя сочетания слов: *vaccines*, *fish vaccines*, *bacterial infections*, *viral diseases*, *fungal diseases*, *oomycete infections*, *Saprolegnia*, *Aphanomyces invadans*, *mucosal immunity*, *adjuvants*, *DNA vaccines*, *RNA vaccines*, *oral vaccination*, *immersion vaccination*, *nanoparticles*, *antigen delivery*, *probiotics*, а также их русскоязычные соответствия. Хронологические рамки охватывали период с января 2000 года по июнь 2026 года. Для работ, имеющих фундаментальное концептуальное значение, допускались включения более ранних публикаций.

Первоначально было обнаружено 387 записей. После удаления дубликатов (автоматически и вручную) осталось 263. При скрининге названий и аннотаций исключили 89 публикаций по следующим причинам: исследование выполнено на других группах животных (не на рыбах), отсутствуют иммунологические или профилактические показатели, тематика не связана с аквакультурой или с рассматриваемыми инфекциями. К полнотекстовому анализу отобрали 74 работы. Дополнительно были включены еще несколько источников, найденных по ссылкам из обзоров и рекомендациям экспертов. Таким образом, общее число цитируемых работ в обзоре для второй части работы составило 77 источников, которые приведены в библиографическом списке.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Вакцины в аквакультуре: современное состояние применения

Вакцинация является одним из наиболее успешных инструментов профилактики инфекционных болезней рыб. Наиболее убедительные результаты достигнуты в индустриальном выращивании лососевых, где вакцины против фурункулеза, вибриоза, иерсиниоза, холодноводной вибриозной инфекции и ряда вирусных заболеваний позволили существенно снизить потребность в антибиотиках. Коммерческие вакцины также применяются для тиляпии, сома, морского окуня, палтуса, трески, форели, карпа и других видов, хотя доступность препаратов сильно зависит от региона, структуры рынка и экономической ценности выращиваемой рыбы [2–7].

Наиболее распространены инактивированные бактериальные вакцины. Они содержат убитые клетки или антигенные компоненты возбудителя и часто вводятся инъекционно с масляным адъювантом. Их преимущества — относительная безопасность, технологическая простота, возможность комбинирования нескольких антигенов и длительная защита. Недостатки — трудоемкость индивидуальной инъекции, невозможность применения у очень мелкой рыбы, риск местных воспалительных реакций и ограниченная эффективность против некоторых внутриклеточных или антигенно изменчивых патогенов.

Живые аттенуированные вакцины способны имитировать естественную инфекцию и вызывать сильный клеточный и мукозальный ответ, но их применение ограничено требованиями биобезопасности. Для аквакультуры особенно важен риск реверсии вирулентности, горизонтального переноса генетических элементов и распространения вакцинного штамма в окружающей среде. Поэтому такие препараты требуют строгой регуляторной оценки и пострегистрационного мониторинга [2–4, 7].

Субъединичные и рекомбинантные вакцины позволяют использовать очищенные белки, антигенные домены или вирусоподобные частицы. Они безопаснее живых вакцин, но часто менее

иммуногенны без адъювантов и систем доставки. ДНК-вакцины занимают особое место в рыбной вакцинологии, поскольку для некоторых вирусных болезней они показали высокую защитную эффективность. Их действие основано на введении плазмиды, кодирующей антиген, после чего клетки хозяина синтезируют антиген и представляют его иммунной системе [4, 8].

Современные исследования также включают векторные платформы, наночастицы, мукозальные адъюванты, биоинженерные корма, растительные экспрессионные системы и экспериментальные РНК-подходы. Однако переход от лабораторного прототипа к хозяйственному применению требует решения вопросов стоимости, стабильности, масштабирования, регуляторного допуска, защиты окружающей среды и приемлемости для потребителей [2, 5, 6].

Основные платформы вакцин для рыб представлены в таблице 1.

Спектр вакцинных мишеней в аквакультуре

Наиболее развитым направлением остаются вакцины против бактериальных заболеваний рыб. В разных странах применяются или разрабатываются препараты против *Vibrio anguillarum, Aeromonas salmonicida, Yersinia ruckeri, Flavobacterium psychrophilum, Edwardsiella tarda, Edwardsiella ictaluri, Streptococcus iniae, Streptococcus agalactiae, Lactococcus garvieae, Photobacterium damselae subsp. piscicida* и *Francisella noatunensis.* Преобладают инактивированные бактериальные вакцины, поскольку они технологически стандартизируемы и безопасны, хотя для устойчивой защиты часто требуют адъювантов и инъекционного введения [7, 9].

Среди бактериальных патогенов, для которых наиболее детально изучено взаимодействие вакцинации и пробиотической поддержки, особое место занимает *Aeromonas hydrophila* — один из ведущих возбудителей геморрагической септицемии у широкого круга пресноводных рыб. Miryala & Swain [10] в анализе актуального состояния разработки вакцин против *A. hydrophila* констатировали, что несмотря на существенный прогресс в создании рекомбинантных, субъединичных и живых аттенуированных препаратов, их эффективность значительно варьирует между партиями рыбы в зависимости от иммунного статуса хозяина. Именно этот факт делает пробиотическую предвакцинальную подготовку особенно перспективной для данной мишени: рыба с нормализованной кишечной микробиотой и активированным мукозальным иммунитетом демонстрирует более однородный иммунный ответ на антиген. Ранее Aly *et al.* [11] экспериментально подтвердили этот принцип на тиляпии, показав достоверное усиление антиаэромонозного иммунного ответа при комбинированном применении пробиотика и вакцины.

Вирусные вакцины применяются или исследуются против инфекционного панкреатического некроза, инфекционной анемии лосося, вирусной геморрагической септицемии, инфекционного некроза гемопоэтической ткани, вирусного нервного некроза, весенней виремии карпа, герпесвирусных инфекций карпа, иридовирусных инфекций и *Tilapia lake virus*. Для вирусных болезней особенно перспективны ДНК-вакцины, рекомбинантные субъединичные платформы, вирусоподобные частицы и векторные системы доставки антигена [8, 12, 13].

Детальный анализ каждого из этих патогенов и соответствующих вакцинных платформ представлен ниже, после рассмотрения особой группы — грибковых и оомицетных инфекций.

Для грибковых и грибоподобных патогенов коммерчески применяемые вакцины практически отсутствуют. Наиболее актуальными объектами экспериментальной вакцинологии являются *Saprolegnia parasitica, Aphanomyces invadans, Branchiomyces spp.* и отдельные представители *Achlya spp*. В отношении *S. parasitica* описаны

Таблица 1. **Основные платформы вакцин для рыб**
Table1. **Major vaccine platforms for fish**

Платформа	Примеры применения	Иммунологические преимущества	Основные ограничения	Перспективы
Инактивированные бактериальные вакцины	Вибриоз, фурункулез, иерсиниоз, стрептококкоз	Безопасность, возможность поливалентных формул, длительная защита при инъекции	Трудоемкость введения, адъювантные реакции, слабая клеточная иммуногенность	Оптимизация адъювантов и комбинированных схем
Живые аттенуированные вакцины	Экспериментальные и ограниченные коммерческие решения	Сильный врожденный, клеточный и мукозальный ответ	Биобезопасность, риск персистенции и реверсии	Генетически контролируемая аттенуация, маркерные вакцины
Субъединичные и рекомбинантные вакцины	Вирусные и бактериальные антигены, паразитарные мишени	Высокая безопасность, точный антигенный состав	Часто нужны адъюванты и носители	Вирусоподобные частицы, наночастицы, растительные системы
ДНК-вакцины	Вирусные болезни лососевых и др.	Стимуляция клеточного и гуморального ответа, внутриклеточная экспрессия антигена	Регуляторные требования, общественное восприятие, способ введения	Комбинации с электропорацией, поливалентные конструкции
Оральные и иммерсионные вакцины	Бактериальные инфекции, бустерные схемы	Массовая обработка, меньший стресс, возможность раннего применения	Деградация антигена, вариабельное поглощение, риск толерантности	Микрокапсулы, мукоадгезивные частицы, пробиотические носители

иммунобиоинформатические подходы к созданию многоэпитопной химерной вакцины, однако такие конструкции требуют подтверждения в клеточных и in vivo моделях [14].

Подходы в разработке вакцин против грибковых и оомицетных инфекций

В отличие от бактериальных и некоторых вирусных болезней, коммерчески применяемые вакцины против сапролегниоза и большинства других микотических/оомицетных болезней рыб в настоящее время отсутствуют. Причины связаны с оппортунистической природой инфекции, сложной антигенной структурой оомицетов, преобладающим значением барьерного и врожденного иммунитета, трудностями моделирования заражения, а также с тем, что защита должна формироваться преимущественно на коже, жабрах и поверхности икры. Поэтому грибковые и оомицетные болезни остаются одной из зон, где вакцинация пока не перешла из исследовательского этапа в обычную производственную практику [15, 16].

Тем не менее, предпосылки для вакцинопрофилактики существуют. У рыб формируется иммунологическая память, а при *Saprolegnia* и *Aphanomyces* описаны антигенные компоненты и секретируемые белки, потенциально распознаваемые иммунной системой. Современные подходы включают поиск антигенов по данным геномики и протеомики, анализ секретома, идентификацию молекул, участвующих в прикреплении и инвазии, а также построение рекомбинантных и субъединичных конструкций. Для *Saprolegnia parasitica* предложена *in silico* многоэпитопная химерная вакцина, включающая эпитопы ключевых белков, связанных с инфекционным процессом; моделирование показало потенциальное связывание с рыбьими иммунными рецепторами TLR5, MHC I и MHC II, но такая конструкция требует обязательной проверки *in vitro и in vivo* [14].

Для Aphanomyces invadans экспериментально изучались антигенные препараты как кандидаты для защиты индийской катлы (*Catla catla),* пресноводной карповой рыбы, выращиваемой в аквакультуре Южной Азии, от эпизоотического язвенного синдрома. Полученные данные указывают на то, что специфический иммунный ответ на антигены возбудителя возможен, однако до промышленной вакцины этот подход не доведен. В ближайшей перспективе наиболее реалистичны не классические массовые вакцины против всех оомикозов, а таргетированные исследовательские продукты для высокоценных видов или маточных стад, где потери от заболевания оправдывают сложную схему профилактики [17].

Особое место занимает связь между вакцинацией против других болезней и риском сапролегниоза. У атлантического лосося описана ассоциация *Saprolegnia*-инфекции после процедур вакцинации с изменением экспрессии стрессовых и иммунных генов. Это не означает, что вакцина вызывает сапролегниоз как инфекцию, но подчеркивает роль обработки, анестезии, механических микротравм и временной перестройки иммунного ответа как факторов риска. Следовательно, при планировании инъекционной вакцинации в хозяйствах с историей сапролегниоза следует усиливать водный и санитарный контроль, минимизировать травматизацию, использовать функциональные корма и пробиотики в подготовительный период, а также избегать вакцинации при неблагоприятной температуре и плохом качестве воды [18].

Таким образом, перспективы разработки вакцин против грибковых и оомицетных болезней рыб связаны с поиском защитных антигенов на основе данных геномики и протеомики возбудителей, созданием многоэпитопных вакцинных конструкций, применением мукозальных адъювантов, наночастиц и пробиотических носителей для доставки антигенов. Однако практическая стратегия ближайших лет должна оставаться комплексной: биобезопасность и управление стрессом являются базой, пробиотики и постбиотики — потенциальными средствами снижения инфекционного давления и поддержки барьера, а вакцины — перспективным, но пока преимущественно экспериментальным направлением для *Saprolegnia* и *Aphanomyces*.

Ключевые препятствия для разработки вакцин против микозов и оомикозов включают: биологическую неоднородность возбудителей; различия между истинными грибами и оомицетами; недостаточную изученность локального кожного и жаберного иммунитета рыб; оппортунистический характер многих поражений; трудность выбора консервативных защитных антигенов; низкую воспроизводимость экспериментального заражения, зависящую от состояния покровных тканей, качества воды, температуры и стресс-факторов; а также отсутствие универсальных критериев оценки полевой эффективности. Поэтому даже перспективные антигенные кандидаты должны рассматриваться в связке с санитарно-технологическим контролем среды и снижением травматизации рыб [15, 16, 18–21].

Вирусные болезни рыб как объект вакцинопрофилактики

В отличие от грибковых инфекций, для ряда вирусных болезней рыб уже созданы коммерческие вакцины с доказанной эффективностью. Общим свойством этих патогенов является высокая контагиозность, склонность к стремительному распространению внутри садка или пруда и практическая невозможность эффективного лечения после появления клинических признаков. В условиях рециркуляционных систем, прибрежных садков и прудовых хозяйств даже единичный занос вируса способен уничтожить все поголовье производственного цикла. Именно поэтому разработка вирусных вакцин для рыб является одним из наиболее приоритетных направлений современной аквакультурной медицины.

Инфекционный некроз гемопоэтической ткани, вызываемый IHNV (*Novirhabdovirus salmoninae*), является одним из наиболее экономически значимых вирусных заболеваний лососевых. Вирус широко распространен в Северной Америке, Европе и Азии. В Китае циркулируют преимущественно генотипы J и U, существенно отличающиеся от североамериканских изолятов, что определяет необходимость создания географически адаптированных вакцин [22, 23]. Коммерческая ДНК-вакцина APEX-IHN® содержит плазмиду, кодирующую гликопротеин G оболочки IHNV, и вводится методом внутримышечной инъекции. Механизм действия включает экспрессию вирусного антигена трансфицированными клетками хозяина с последующей активацией врожденного интерферонового ответа (через паттерн-рецепторы TLR9 и STING) и адаптивного иммунного ответа с выработкой нейтрализующих антител IgM и антиген-специфических лимфоцитов. Относительный процент выживаемости (RPS) при экспериментальном заражении достигает 88–98% у вакцинированных рыб [24].

VHSV (*Novirhabdovirus magnus*) поражает лососевых, камбалообразных, тресковых, сельдеобразных и многих других. Четыре основных генотипа (I–IV) значительно различаются по географическому распространению и хозяйской специфичности, что затрудняет разработку универсальной вакцины. ДНК-вакцины, кодирующие гликопротеин G VHSV, обеспечивают высокий RPS в лабораторных условиях. Исследование Marsella *et al.* впервые оценило эффективность ДНК-вакцин против VHS и IHN при интенсивном форелеводстве, подтвердив высокую защитную активность в условиях полевого применения [25].

Болезнь поджелудочной железы (PD), вызываемая альфавирусом лосося (SAV), является ведущей болезнью норвежского морского лососеводства. Описано 6 субтипов (SAV1–SAV6): SAV2 и SAV3 доминируют в Норвегии, SAV1 — на Британских островах. Для PD доступны два типа коммерческих вакцин: инактивированные масляно-адъювантные (Oil-PD) и ДНК-вакцины (DNA-PD), которые показали, что обе платформы снижают клинические признаки и гистопатологические изменения, однако DNA-PD обеспечивает более выраженное снижение вирусной нагрузки и более стабильный иммунный ответ [26, 27]. Помимо этого, DNA-PD-вакцина снижает не только клинические потери, но и горизонтальное распространение SAV в стае рыб, что указывает на возможность формирования «коллективного (популяционного) иммунитета» при массовой ДНК-вакцинации, концепция, ранее не применявшаяся к рыбоводству [28].

ISAV (*Orthomyxovirus, Isavirus*) относится к нотифицируемым болезням WOAH, вызывал эпизоотии в норвежском, чилийском и канадском лососеводстве. Коммерческие инактивированные поливалентные вакцины (например, MSD Aquaculture, Pharmaq) применяются в сочетании с другими антигенами в стандартных схемах вакцинации атлантического лосося. Оральные бустерные схемы поддерживают высокий уровень специфических IgM против ISAV и обеспечивают пролонгированную защиту на протяжении 800 дней после иммунизации [29].

Инфекционный панкреатический некроз (IPN), вызываемый IPNV, долгое время был главной причиной гибели постсмолтов атлантического лосося. Широкое внедрение молекулярно-генетической селекции — целенаправленного отбора производителей, несущих аллели устойчивости к IPNV, — в сочетании с применением инактивированных поливалентных вакцин кардинально изменило ситуацию по инфекционному панкреатическому некрозу в промышленном лососеводстве. IPNV продолжает включаться как антиген в поливалентные масляные вакцины. Иммунологически IPNV отличается тем, что основная роль в защите отводится не антителам IgM, а системному и слизистому клеточному ответу, что объясняет частичную вариабельность эффективности инактивированных препаратов [30]. Рекомбинантный белок VP2 является главным нейтрализующим антигеном IPNV и рассматривается как основа субъединичных вакцин следующего поколения.

Вирусный нервный некроз (VNN/VER), вызываемый бетанодавирусами (*Betanodavirus*), является одной из наиболее серьезных угроз для морского рыбоводства в мире. Вирус поражает нервную ткань мозга и сетчатку, вызывая нарушения плавания и массовую гибель. Наиболее уязвимы личинки и молодь; болезнь зарегистрирована у более чем 120 видов рыб, включая европейского морского окуня (*Dicentrarchus labrax*), азиатского групера, тресковых и камбалообразных.

Инактивированные вакцины против VNN разработаны и применяются в ряде стран. Субъединичный рекомбинантный белок капсида NNV (coat protein, CP), экспрессированный в бактериальных или дрожжевых системах, обладает свойством самосборки в вирусоподобные частицы (VLP), обеспечивающие высокую иммуногенность. VLP бетанодавируса (RGNNV-CP), продуцированные в хлоропластах трансгенных растений, обеспечивают высокую защиту при оральном введении с кормом семибандному гуперу, объединяя преимущества растительной платформы и VLP-технологии [31]. Вирусоподобные частицы на основе капсидного белка RGNNV (вирус нервного некроза краснопятнистого групера) продемонстрировали свойства универсального носителя: к их поверхности успешно присоединяли антигены других патогенов — в частности, поверхностный белок VapA *Aeromonas salmonicida*. Такой подход позволяет на основе одной и той же вакцинной конструкции создавать препараты против различных возбудителей инфекционных болезней рыб, что свидетельствует о широком прикладном потенциале вирусоподобных частиц на

основе капсидного белка вируса нервного некроза (NNV-VLP) как модульной платформы [32].

Ключевой проблемой для NNV-вакцин является генетическая вариабельность бетанодавирусов (генотипы RGNNV, SJNNV, TPNNV, BFNNV) и ограниченная перекрестная защита между ними, что требует штаммового соответствия или разработки многоэпитопных конструкций [12, 13, 31, 32].

Tilapia tilapinevirus (TiLV), уникальный ортомиксоподобный вирус с 10-сегментным геномом, зафиксирован в более чем 17 странах, вызывает смертность до 88% рыбы в пораженных хозяйствах. Болезнь угрожает продовольственной безопасности Африки, Азии и Латинской Америки, где тиляпия является основным источником животного белка [33, 34].

Первые экспериментальные вакцины против TiLV в присутствии адъюванта Montanide IMS 1312 VG обеспечивают RPS 60–81% при инъекционном применении [35]. Субъединичные и ДНК-вакцины против сегментов 9 и 10 генома TiLV показали существенно лучшую защиту при комбинировании двух сегментов, чем при использовании каждого по отдельности (RPS до 61% для одного сегмента), демонстрируя принцип многовалентности [33]. Вакцинация производителей тиляпии инактивированным препаратом против TiLV стимулирует специфические антитела и пассивный материнский трансфер этих антител в икру и личинки, открывая перспективу вертикальной защиты потомства [34]. Эта стратегия особенно ценна потому, что TiLV предположительно передается вертикально.

Cyprinid herpesvirus 3 (CyHV-3, KHV) вызывает острое системное заболевание обыкновенного карпа и кои с летальностью до 79–98% при первичном контакте. Вирус поражает кожу, жабры, почки, мозг и кишечник. Болезнь входит в список нотифицируемых WOAH [36]. В настоящее время существует единственный коммерчески доступный препарат — живая аттенуированная вакцина Cavoy®, применяемая методом иммерсии у молоди карпа [37]. Иммунологическое исследование показало, что вакцинация против CyHV-3 защищает барьерную функцию кожи от вирусного повреждения: у вакцинированных карпов экспрессия генов межклеточных соединений, муцинов и антимикробных пептидов в коже была значимо выше при заражении, чем у невакцинированных [38]. Этот результат имеет принципиальное значение для понимания взаимодействия вакцинации с пробиотическими технологиями, направленными на поддержание барьерной функции.

Пути введения вакцин и технологические ограничения

Инъекционная вакцинация

Инъекционная вакцинация, прежде всего внутрибрюшинная, остается наиболее эффективным и распространенным методом для крупных рыб. Она обеспечивает точную индивидуальную дозу, надежный контакт антигена с иммунной системой и возможность применения масляных адъювантов. В лососеводстве инъекционная вакцинация широко применяется у молоди перед переводом из пресноводных условий выращивания в морские садки, поскольку высокая экономическая ценность рыбы оправдывает затраты на индивидуальную обработку, а длительный производственный цикл требует продолжительной иммунной защиты [2–4].

Недостатки инъекционной вакцинации связаны с трудоемкостью, необходимостью анестезии, риском механических повреждений, стрессом и невозможностью применения у мелкой рыбы. Масляные адъюванты могут вызывать спайки, гранулемы, пигментацию и снижение товарного качества при неправильной технике или высокой реактивности препарата. Поэтому современные исследования направлены на поиск адъювантов, сохраняющих длительную защиту при меньшей местной реактивности [6, 21, 39].

Технологически важны автоматизация инъекционных линий, контроль размера рыбы, точность дозирования, температура воды до и после вакцинации, качество анестезии и последующее восстановление. Ошибки на этом этапе могут нивелировать иммунологические преимущества вакцины: повреждение органов, инъекция не в ту полость, загрязнение игл или нарушение холодовой цепи повышают риск поствакцинальных осложнений [3, 4, 6].

Иммерсионная вакцинация

Иммерсионная вакцинация предполагает погружение рыбы в раствор антигена на определенное время. Она удобна для массовой обработки молоди и позволяет стимулировать мукозальные поверхности кожи и жабр. Метод особенно привлекателен там, где индивидуальная инъекция невозможна по размеру рыбы или экономически нецелесообразна. Антиген может проникать через жаберный эпителий, кожу, боковую линию и поврежденные микроповерхности слизистого слоя [5, 40].

Эффективность иммерсионной вакцинации зависит от концентрации антигена, длительности экспозиции, температуры, солености, размера рыбы, стрессоустойчивости и состояния слизистых оболочек. Главные ограничения — меньшая дозовая точность и часто более короткая продолжительность защиты по сравнению с инъекцией. Для усиления эффекта изучаются мукозальные адъюванты, наночастицы, бактериальные наружные мембранные везикулы и схемы prime-boost, при которых иммерсионная вакцинация используется как ранний прайминг, а инъекция или оральный бустер — на более позднем этапе.

В производственных условиях иммерсионная вакцинация должна быть интегрирована с сортировкой и пересадкой, чтобы не увеличивать число стрессовых манипуляций. Важно контролировать в воде кислород, температуру и плотность в

вакцинационной емкости, а также обеззараживание отработанного раствора антигена.

Оральная вакцинация

Оральная вакцинация считается наиболее желательным способом для аквакультуры, поскольку антиген вводится с кормом, не требует индивидуального обращения с рыбой, подходит для повторных бустеров и минимизирует стресс. Однако именно оральные вакцины остаются одной из самых сложных технологических задач. Антиген должен сохраняться при производстве и хранении корма, не вымываться в воде, выдерживать желудочную деградацию и высвобождаться в кишечнике в форме, способной индуцировать защитный ответ [40, 41].

Основные решения включают микрокапсулирование в альгинат, хитозан, PLGA и липидные матрицы, использование биопленок, дрожжевых клеточных стенок, растительных тканей, бактериальных спор и пробиотических носителей. Особый интерес представляет доставка антигенов через пробиотические или непатогенные бактериальные векторы, которые одновременно могут стимулировать врожденный иммунитет и защищать антиген от разрушения. Но такие подходы требуют строгой оценки генетической стабильности, экологической безопасности и риска горизонтального переноса.

Для оральной иммунизации критичны доза и режим кормления. Рыбы в партии потребляют корм неодинаково, что ведет к вариабельной антигенной нагрузке. При недостаточной дозе защита не формируется, при избыточной или длительной подаче возможно развитие оральной толерантности. Поэтому в ближайшей перспективе оральные вакцины, вероятно, будут использоваться преимущественно для повторной иммунизации после первичного введения вакцины инъекционным или иммерсионным способом, а не как полная замена инъекционной вакцинации [5, 40, 41].

Адъюванты, носители и новые платформы вакцин для рыб

Адъюванты в вакцинах для рыб усиливают раннюю неспецифическую реакцию иммунной системы на антиген, способствуют его более длительному сохранению в организме, улучшают захват и распознавание антигена иммунными клетками, помогают сформировать антительный и клеточный иммунный ответ и продлевают продолжительность защитного эффекта вакцинации. Масляные эмульсии остаются наиболее распространенными в инъекционных вакцинах, но их побочные эффекты стимулируют поиск более безопасных альтернатив [6].

Минеральные соли, β-глюканы, сапонины, *CpG*-олигонуклеотиды, поли I:C, хитозан, бактериальные везикулы, липосомы и полимерные наночастицы рассматриваются как потенциальные адъюванты или системы доставки. Для рыб особенно важно сочетание иммуногенности и биосовместимости при разных температурах. Адъювант, эффективный у тепловодной тиляпии, может иначе действовать у холодноводной форели, поскольку скорость метаболизма, активность фагоцитов и кинетика воспаления будут различными [6, 39].

Наночастицы и микрочастицы позволяют защитить антиген, обеспечить контролируемое высвобождение и направить его к мукозальным тканям. Частицы на основе биоразлагаемых полимеров, включая полилактид-со-гликолид, а также на основе альгината, хитозана и липидов могут использоваться для защиты вакцинного антигена и его доставки при оральной или иммерсионной вакцинации рыб. Мукоадгезивные свойства хитозана особенно интересны для кишечного и жаберного эпителия. В то же время наноматериалы требуют токсикологической оценки: размер, заряд, скорость деградации и накопление в тканях могут влиять на безопасность [6, 11, 42]. Применение наночастиц открывает путь к массовой иммунизации ценных тропических видов без индивидуальной инъекции [35, 37].

Оральная доставка ДНК-вакцины с использованием систем PLGA-наночастиц, хитозана, альгината натрия и адъюванта Montanide GR01 открывает путь к массовой иммунизации без инъекций. Исследования показали, что наиболее эффективным носителем из четырех протестированных является Montanide GR01: высокая доза IHN ДНК-вакцины в его составе подавляла репликацию IHNV, индуцировала ранний иммунный ответ и повышала относительную выживаемость молоди форели [43]. Сравнительное тестирование оральных вакцин на основе инсектного биореактора (белок G, экспрессированный в клетках *Trichoplusia ni*) подтвердило возможность создания эффективных оральных форм без инъекционной нагрузки [44].

Принципиально новым направлением является использование спор *Bacillus subtilis* одновременно как пробиотика и носителя вакцинного антигена при оральной иммунизации. Gonçalves *et al.* [45] показали, что споры *B. subtilis*, экспонирующие на поверхности антиген *Vibrio anguillarum*, вызывали специфический иммунный ответ у рыб при оральном введении, обеспечивая достоверную защиту от вибриоза в условиях контрольного заражения. Последующие работы той же группы [46] уточнили, что иммуномодуляция зависит от конкретного штамма-носителя: разные штаммы *B. subtilis* с идентичным антигеном могут давать количественно различные иммунные ответы, что подчеркивает необходимость штаммселекции для оптимальной пробиотической вакцинной платформы. De Stefano *et al.* [47] расширили эту концепцию, продемонстрировав, что спорово-антигенная конструкция против *Vibrio* сохраняла иммуногенность при хранении в корме и выдерживала условия пищеварительного тракта, принципиально трудные для традиционных белковых антигенов. Таким образом, пробиотические споры представляют

собой двойную функциональную платформу — они одновременно нормализуют кишечную микробиоту и доставляют специфический антиген к мукозальным иммунным структурам рыбы.

Рекомбинантные технологии расширяют набор антигенов. Вирусоподобные частицы способны имитировать структуру вируса без инфекционности и эффективно активировать иммунную систему. Растительные экспрессионные системы потенциально позволяют производить антигены дешево и масштабируемо, что особенно важно для низкомаржинальных видов [31, 32, 37]. ДНК-вакцины и другие генетические платформы обладают высокой эффективностью против некоторых вирусных болезней, но требуют прозрачной регуляторной оценки и коммуникации с рынком.

Перспективным направлением является разработка DIVA-вакцин, позволяющих с помощью специальных диагностических тестов отличать вакцинированных рыб от рыб, инфицированных возбудителем. Для аквакультуры это особенно важно при торговле посадочным материалом и при контроле болезней, подлежащих обязательному уведомлению. Однако внедрение такого подхода требует диагностических тестов, валидированных для конкретного патогена и вида рыбы [2, 4].

С учетом механизмов действия пробиотиков, рассмотренных в первой части обзора, и современного состояния вакцинологии для рыб, перейдем к анализу возможностей их совместного применения.

Пробиотики как иммунологические и технологические партнеры вакцинации

Идея сочетания пробиотиков и вакцин основана на том, что пробиотики могут улучшать физиологический фон, на котором формируется вакцинный ответ. Нормализованная микробиота, сохранный кишечный барьер, активный врожденный иммунитет и стабильное кормопотребление создают условия для более предсказуемой иммуногенезной реакции. В то же время вакцина обеспечивает антиген-специфическую защиту, которую пробиотик не способен заменить при угрозе высоковирулентного патогена [48, 49].

Потенциальная синергия может проявляться несколькими путями. Во-первых, пробиотики могут использоваться в предвакцинальный период для снижения стрессового и воспалительного фона. Во-вторых, они могут сопровождать поствакцинальный период, когда рыба восстанавливается после манипуляции, а иммунная система активно реагирует на антиген. В-третьих, пробиотические или парапробиотические компоненты могут выполнять функцию мукозального адъюванта или носителя антигена в оральных вакцинах. В-четвертых, синбиотические корма могут применяться как бустерная поддержка в периоды высокого инфекционного давления [45, 48, 50].

Концепция синбиотиков — комбинированных препаратов, содержащих как пробиотический микроорганизм, так и пребиотический субстрат для его поддержки, — расширяет возможности данного подхода. Vijayaram *et al.* [51] в актуальном обзоре систематизировали данные о применении синбиотиков в аквакультуре, показав, что синергизм пробиотика и пребиотика усиливает колонизацию кишечника, стабилизирует микробиоту и формирует более выраженный иммуностимулирующий эффект по сравнению с монокомпонентными препаратами. Choudhray *et al.* [52] продемонстрировали на *Channa striata*, что синбиотик на основе *Bacillus amyloliquefaciens* и β-глюкана достоверно повышал активность неспецифического иммунитета — лизоцима, миелопероксидазы, комплемента — и улучшал гематологические показатели, тогда как Linda *et al.* [53] зафиксировали аналогичные закономерности у азиатского сомика (*Heteropneustes fossilis*): синбиотическая добавка улучшала состав кишечной микробиоты, снижала воспалительный фон и ускоряла рост. Noreen *et al.* [54] показали на тиляпии Нила, что синбиотические рационы оптимизировали иммунный ответ и приросты массы в комплексе, подчеркивая значение как иммунологического, так и нутриционного компонента синергии. Совокупно эти данные указывают на то, что синбиотики, применяемые в предвакцинальный или поствакцинальный период, способны формировать более благоприятный иммунный фон для антиген-специфического ответа на вакцину.

Однако синергия не должна предполагаться автоматически. Пробиотик, активирующий врожденные рецепторы, может усилить желательный ответ, но может и изменить баланс воспалительных и регуляторных цитокинов. При использовании живых бактериальных носителей антигена возникает вопрос стабильности экспрессии, безопасности и влияния на окружающую микробиоту. Кроме того, пробиотическая поддержка может маскировать субоптимальную вакцинную схему, если оценивать только краткосрочные показатели выживаемости без анализа специфического иммунитета [45, 48, 50].

Научно обоснованная пробиотико-вакцинная схема должна включать четыре уровня оценки: безопасность, иммунологическую совместимость, защитную эффективность при контрольном заражении и производственную результативность в хозяйстве. Только сочетание этих уровней позволяет отличить реальную синергию от простого совпадения положительных эффектов.

Молекулярную основу синергетического действия пробиотиков и вакцин составляет их совместное воздействие на врожденный и адаптивный иммунный ответ рыб. Компоненты клеточной стенки пробиотических бактерий — пептидогликан, липотейхоевые кислоты и флагеллин — распознаются Toll-подобными рецепторами TLR2 и TLR5, экспрессированными на эпителии кишечника и антигенпрезентирующих клетках, что ведет к активации сигнального каскада MyD88–NF-κB и

усиленной продукции провоспалительных цитокинов [52, 55, 56]. Данный механизм задействуется у широкого круга аквакультурных видов: в обзоре роли TLR в иммунитете водных животных показано, что у рыб описано не менее 21 варианта TLR, функционально перекрывающих распознавание бактериальных, вирусных и грибковых лигандов [57]. Пробиотические штаммы *Bacillus velezensis* и *Lactobacillus sakei* у радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) достоверно модулировали состав кишечного микробиома, повышали продукцию микробных метаболитов, в том числе короткоцепочечных жирных кислот, и активировали гены врожденного иммунитета кишечного эпителия [55]. У карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*) введение пробиотических штаммов *Lactobacillus plantarum* сопровождалось значимым повышением пролиферативной активности лимфоцитов головной почки, усилением бактерицидной активности сыворотки и фагоцитарной функции клеток — эффектами, создающими иммунологический фон, синергичный с последующей антигенной стимуляцией при вакцинации [56].

Прикладное значение указанных механизмов подтверждается исследованиями, в которых совместное применение пробиотиков и вакцин приводило к достоверному усилению специфического гуморального и клеточного иммунного ответа. Ключевым маркером системного иммунного ответа у костистых рыб служат иммуноглобулины IgM, IgD и IgT/Z, причем роль IgM в системном ответе и IgT в мукозальной защите принципиально важна для оценки эффективности вакцинации [58, 59]. При вакцинации атлантического лосося (*Salmo salar*) против возбудителя мовителлеза нарастание титра IgM и увеличение числа лимфоцитов в крови было достоверно более выраженным при бустерной иммунизации на фоне предшествующей иммуностимуляции по сравнению с контрольными группами, получавшими только вакцину [60]. Кишечная лимфоидная ткань (GALT) выступает ключевой структурой, обеспечивающей взаимодействие микробиома и иммунной системы: пробиотики формируют микробный контекст, способствующий дифференцировке B- и T-лимфоцитов, снижению иммунологической толерантности к антигенам и, тем самым, повышению эффективности оральных вакцин [59]. При этом механизм TLR2-зависимой активации, реализуемый лактобациллами и бифидобактериями через NF-κB-путь, обеспечивает не только усиление врожденного иммунного ответа, но и создает цитокиновое окружение, необходимое для примирования $CD4^+$ T-хелперов и B-клеток памяти в ответ на вакцинный антиген [56]. Совокупность представленных данных обосновывает целесообразность включения пробиотиков в схемы профилактики в качестве функциональных адъювантов, способных усиливать как мукозальный [52, 55, 56], так и системный [59, 60] иммунный ответ у лососевых и карповых рыб.

Возможные схемы интеграции

Первая схема характеризуется пробиотической подготовкой перед вакцинацией. В течение 2–4 недель до иммунизации рыба получает функциональный корм, направленный на стабилизацию кишечника и снижение стресса. Такая схема логична перед инъекционной вакцинацией молоди лососевых, тиляпии или морских видов, особенно если партия перенесла сортировку или транспортировку. Критериями эффективности могут быть кормопотребление, активность лизоцима, состояние кишечника, смертность после вакцинации и титр специфических антител [45, 47, 50].

Вторая схема представляет собой пробиотическую поддержку после вакцинации. Она направлена на восстановление после манипуляций и поддержание барьеров до формирования специфической защиты. Ее можно сочетать с антистрессовыми мероприятиями, оптимизацией кислорода и снижением плотности посадки. Такая схема особенно актуальна при масляных адъювантных вакцинах, когда воспалительная реакция может временно снижать аппетит [6, 45, 50].

Третья схема — пробиотик как носитель или адъювант оральной вакцины. *Bacillus*-споры, *Lactobacillus*, дрожжи и бактериальные везикулы могут доставлять антигены или выступать как иммунологические стимуляторы. Это направление находится преимущественно на экспериментальной стадии, но имеет высокую практическую привлекательность для массовой вакцинации мелкой рыбы и бустерных программ [45–47, 61].

Применение молочнокислых бактерий (LAB) в качестве оральных вакцинных платформ в сочетании с пребиотическими компонентами изучалось Vilander *et al.* [50]. Авторы показали, что пробиотическая вакцинная платформа на основе LAB-штаммов в комбинации с пребиотиком обеспечивала достоверный специфический иммунный ответ при оральном введении рыбам, причем пребиотик выступал не только как нутритивная поддержка, но и как мукозальный адъювант, улучшая взаимодействие антигена с лимфоидными структурами кишечника. Механистическая основа этого явления заключается в том, что пробиотики активируют паттерн-распознающие рецепторы эпителия и регуляторные T-клетки, что может как усиливать, так и модулировать адаптивный иммунный ответ на последующую вакцинацию — в зависимости от временно́го интервала между пробиотическим примированием и введением антигена [57]. Таким образом, параметры схемы (продолжительность курса пробиотика, интервал до вакцинации, состав пребиотика) должны быть четко специфицированы в протоколах испытаний, а не оставаться произвольно варьируемыми факторами.

Четвертая схема заключается в комплексной сезонной профилактике. В хозяйствах с известной сезонностью аэромоноза, вибриоза или стрептококкоза вакцинация планируется до

периода риска, а пробиотики применяются в периоды температурного стресса, перестройки рациона, пересадки и максимального инфекционного давления. Такая схема ближе всего к реальной ветеринарной практике, поскольку учитывает календарь производства [2, 48, 62].

Безопасность, регуляторные аспекты и доказательная оценка

Безопасность пробиотиков в аквакультуре должна оцениваться шире, чем безопасность для отдельной рыбы. Препарат вносится в открытую или полуоткрытую водную систему, может попадать в донные отложения, биофильтры, естественные водоемы и пищевую цепь. Поэтому штаммы должны быть точно идентифицированы, не обладать патогенностью для рыб, человека и других животных, не содержать переносимых генов резистентности и не продуцировать токсинов. Особенно осторожно следует относиться к *Enterococcus, Aeromonas, Pseudomonas* и другим родам, где встречаются условно-патогенные представители [63-66].

Для вакцин ключевые вопросы безопасности включают остаточную вирулентность живых препаратов, местные реакции адъювантов, влияние на рост и товарное качество, безопасность для персонала и окружающей среды, а также возможность дифференциации вакцинного и полевого штаммов. Для генетических вакцин дополнительно оцениваются персистенция нуклеиновой кислоты, интеграционный риск, экспрессия антигена и регуляторная приемлемость [2, 4, 8].

Большинство коммерческих вирусных вакцин ориентированы на лосося с высокой экономической ценностью. Для тиляпии, карповых, сома и других массовых видов необходимы иммерсионные, оральные и наночастичные форматы. Именно для этих видов мРНК-платформы, VLP и наноформы обладают наибольшим практическим потенциалом [35, 37].

Доказательная оценка профилактических средств должна строиться на многоуровневой модели. Лабораторный этап выявляет механизм действия и безопасность. Полукоммерческие испытания показывают технологическую реализуемость. Полевые испытания оценивают эффективность в условиях реальной вариабельности воды, корма, патогенов и менеджмента. Для пробиотиков необходимы данные о жизнеспособности в корме на протяжении срока хранения, устойчивости к вымыванию и фактическом поступлении дозы в организм рыбы. Для вакцин — данные о длительности иммунитета, необходимости бустеров и защите против актуальных полевых штаммов [2, 3, 66].

Особую проблему представляет использование относительного процента выживаемости (RPS) как единственного критерия. RPS полезен в контрольном заражении, но не отражает рост, конверсию корма, субклиническую инфекцию, качество мяса, стресс и экономическую эффективность. В рыбоводческих хозяйствах следует использовать интегральные показатели, включающие смертность, среднесуточный прирост массы, коэффициент конверсии корма, коэффициент вариации массы, частоту лечебных обработок, микробиологический статус, иммунологические маркеры и затраты на профилактические обработки на килограмм продукции [2, 3].

Комплексная профилактика инфекционных болезней рыб: практическая модель

Комплексная профилактика начинается с оценки риска. Для каждого хозяйства необходимо определить видовой состав, возрастные группы, источники воды, историю болезней, сезонность вспышек, плотность посадки, качество корма, транспортные операции, наличие биофильтров, контакты с дикой ихтиофауной и статус посадочного материала. На основе этих данных выбираются вакцинные мишени и пробиотическая стратегия. Универсальная схема невозможна, так как программа для садкового лососеводства будет принципиально отличаться от программы для прудового карповодства или УЗВ технология выращивания тиляпии [62, 67–69].

Вакцинация должна быть привязана к патогенам, против которых есть доказанная экономическая угроза и доступная эффективная вакцина. Не следует включать антигены только «на всякий случай», поскольку поливалентность может повышать стоимость и реактивность, не обеспечивая дополнительной пользы [2-4]. Пробиотики, напротив, могут использоваться более широко как фоновая технология, но только при подтвержденной безопасности и технологической стабильности.

Производственный календарь должен учитывать окна восприимчивости. Личинки и ранняя молодь рыбы нуждаются в контроле микробиоты воды, живых кормов и мягкой иммунной поддержке. Подрощенная молодь может получать функциональные корма и иммерсионные вакцины. Крупная молодь и товарная рыба могут быть объектом инъекционной вакцинации и последующих бустеров. Перед транспортировкой и сортировкой целесообразна пробиотическая и антистрессовая подготовка. В период сезонного роста температуры усиливается мониторинг вибрионов, аэромонад и стрептококков [62, 67-69].

Важнейшим условием является диагностика. Профилактика не может быть точной без знания циркулирующих патогенов. Минимальная программа должна включать регулярные бактериологические исследования, ПЦР или другие молекулярные тесты для вирусов, анализ чувствительности бактериальных изолятов, гистологическую оценку при хронических потерях и мониторинг микробиоты в проблемных системах. Полученные данные позволяют обновлять вакцинные антигены, корректировать пробиотики и избегать ненужного применения лекарственных средств [2, 3, 62].

При подозрении на грибковые и оомицетные болезни диагностический блок должен включать микроскопию соскобов кожи, жабр и икры, оценку мицелиальных структур, культуральные методы, ПЦР/секвенирование при необходимости, а при EUS — гистологию с подтверждением инвазивных гиф и исключением первичных бактериальных язвенных процессов [16, 19, 70].

Экономическая оценка должна учитывать не только цену препарата. Для вакцин важны затраты на труд, анестезию, оборудование, стресс, возможные потери после обработки и длительность защиты. Для пробиотиков — стоимость на тонну корма, стабильность, необходимость постоянного применения и эффект на FCR. В ряде случаев умеренное снижение FCR может экономически превосходить снижение смертности, особенно при дорогих кормах и длительном цикле выращивания [2, 3].

Поэтапный алгоритм пострения комплексной программы прфилактики представлен в таблице 2.

Перспективы развития

Первая перспектива связана с переходом от эмпирического подбора пробиотиков к научно обоснованному отбору штаммов на основе анализа их генома, метаболической активности, безопасности и функциональных свойств. Секвенирование геномов позволяет выявлять гены антимикробных метаболитов, ферментов, адгезинов, стрессоустойчивости и потенциальной вирулентности. Метаболомика и транскриптомика помогают понять, какие вещества фактически продуцируются в условиях кишечника или воды. Такой подход должен повысить воспроизводимость результатов и снизить риск применения плохо охарактеризованных культур [64, 65, 71, 72].

Вторая перспектива — развитие парапробиотиков и постбиотиков. Инактивированные клетки, клеточные стенки, внеклеточные везикулы, метаболиты и ферментированные продукты могут сохранять иммуномодулирующую активность при большей технологической стабильности и безопасности. Для систем с высоким регуляторным контролем это может быть привлекательнее живых культур. Однако постбиотики требуют ясной стандартизации состава и механизма действия [64, 65].

Третья перспектива — совершенствование мукозальных вакцин. Будущее оральной и иммерсионной иммунизации зависит от способности доставлять антиген к слизистым тканям без деградации и толерантности. Наночастицы, мукоадгезивные полимеры, бактериальные везикулы, вирусоподобные частицы и биоинженерные пробиотические носители являются наиболее активными направлениями. Практическим критерием успеха станет не только лабораторная защита, но и экономичная массовая обработка рыбы разных размеров [5, 40, 42, 73].

Для грибковых и оомицетных болезней эта перспектива особенно важна, так как защита от *Saprolegnia* и *Aphanomyces* должна формироваться не только системно, но и на поверхности кожи, жабр и икры, поэтому будущие вакцины, вероятно, потребуют мукозальных адъювантов, иммерсионных или оральных платформ и сочетания с пробиотическим биоконтролем наружных биотопов [19, 20, 74].

Отдельной перспективой является развитие комбинированных пробиотико-вакцинных технологий в единой системе доставки. Уже сегодня накоплены доказательства того, что пробиотические споровые платформы (*Bacillus spp*.) [45–47, 61], LAB-носители антигенов [50, 75] и синбиотические добавки [52-54] могут повышать как иммуностимулирующий фон, так и антиген-специфический иммунный ответ. Реализация этого потенциала потребует стандартизации протоколов оценки, когда недостаточно регистрировать лишь выживаемость при контрольном заражении — необходимо определять титры IgT и IgM, активность лизоцима, гистологическую картину слизистых тканей и показатели продуктивности на протяжении всего производственного цикла [10, 51]. Комплексный обзор Tayyab M. *et al.* [48] систематизировал накопленные данные о пробиотико-вакцинном синергизме в аквакультуре, подчеркнув, что переход от единичных лабораторных экспериментов к воспроизводимым производственным протоколам остается ключевым вызовом для отрасли. Именно развитие методологической базы многоуровневых

Таблица 2. **Алгоритм построения комплексной программы профилактики**
Table 2. **Algorithm for constructing a comprehensive prevention program**

Этап	Действия	Контрольные показатели	Роль пробиотиков и вакцин
1. Аудит риска	Анализ истории болезней, воды, плотности посадки, корма, источника получения молоди	Смертность, патогены, гидрохимия, стрессовые операции	Определение целевых инфекций и периодов применения
2. Диагностика	Бактериология, ПЦР, гистология, чувствительность к антибиотикам	Полевые штаммы, сезонность, смешанные инфекции	Выбор вакцинных антигенов и пробиотических задач
3. Планирование действий	Календарь вакцинации, функциональные корма, биобезопасность	Возраст, масса, температура, окно риска	Вакцина как специфическая защита, пробиотик как фон устойчивости
4. Внедрение	Обучение персонала, контроль дозы, холодовая цепь, хранение кормов	Поствакцинальная смертность, аппетит, качество воды	Снижение стресса и обеспечение иммунного ответа
5. Оценка эффективности	Сравнение партий рыбы между собой, сезонов обработки, расчет затрат и выгод	Смертность, конверсия корма, прирост массы, лечебные обработки, прибыль	Коррекция схемы на основе данных

испытаний, включающих оценку мукозальных иммунных маркеров, микробиомного профиля и экономических показателей, обеспечит перевод пробиотико-вакцинных схем из разряда экспериментальных в разряд стандартных инструментов профилактической ветеринарной медицины в аквакультуре.

Грибковые и оомицетные инфекции рыб, прежде всего сапролегниоз и эпизоотический язвенный синдром, занимают особое место в комплексной профилактике. По ним уже имеются экспериментальные данные о пробиотическом биоконтроле и вакцинных кандидатах, однако доказательная база пока значительно уступает бактериальным вакцинам. Поэтому в ближайшей практике основной акцент должен делаться на профилактику травм и стресса, санитарный контроль икры и воды, раннюю диагностику, поддержание кожно-слизистого барьера и осторожное внедрение пробиотических препаратов только после проверки в условиях конкретного хозяйства.

Четвертая перспектива заключается в персонализации профилактики на уровне хозяйства. Понятие «персонализация» в аквакультуре означает адаптацию схемы к виду, линии, микробиоте, температуре, патогенам, корму и технологии выращивания. Данные микробиомного мониторинга, ПЦР-диагностики, автоматических сенсоров воды и производственных показателей могут использоваться для динамической корректировки пробиотиков, бустеров и биобезопасности [48, 62, 76].

Пятая перспектива характеризуется интеграцией профилактики с селекцией устойчивости. Вакцины и пробиотики не должны рассматриваться отдельно от генетики. Линии рыб могут различаться по иммунному ответу, составу микробиоты, восприимчивости к стрессу и реакции на пробиотики. Сочетание селекции на устойчивость, вакцинации и функционального кормления способно дать более устойчивый эффект, чем любая технология по отдельности [48, 62, 76].

Наконец, потребуется развитие регуляторной базы. Для пробиотиков необходимо единое понимание требований к идентификации штамма, безопасности, маркировке, доказательствам эффективности и контролю качества. Для вакцин — ускоренные, но надежные процедуры оценки против новых патогенов, включая вирусные угрозы и болезни, связанные с климатическими изменениями. Без регуляторной предсказуемости инновации будут медленно переходить из лаборатории в хозяйства [36, 62, 76, 77].

Выводы/Conclusion

Пробиотики и вакцины занимают разные, но взаимодополняющие ниши в профилактике инфекционных болезней рыб. Вакцины являются главным инструментом специфической защиты против определенных патогенов и особенно эффективны в системах, где возможно планирование иммунизации и экономически оправдана индивидуальная обработка. Пробиотики формируют более широкий фон устойчивости, поддерживая микробиоту, барьерные ткани, пищеварение, врожденный иммунитет и качество среды. Их ценность особенно высока на ранних стадиях выращивания, в периоды стресса и при необходимости снижения антибиотикозависимости.

Современная профилактика в аквакультуре не должна противопоставлять пробиотики и вакцины. Рациональная стратегия состоит в их интеграции с биобезопасностью, диагностикой, управлением качества воды, а также качественным кормлением и селекцией устойчивости. Пробиотики не заменяют вакцины против высокоопасных инфекций, а вакцины не устраняют необходимость поддерживать микробный и физиологический баланс хозяйства. Именно сочетание специфической и неспецифической профилактики способно обеспечить устойчивое снижение смертности и лекарственной нагрузки.

Ключевыми условиями дальнейшего прогресса являются штаммовая стандартизация пробиотиков, доказательная оценка пробиотико-вакцинных схем, развитие мукозальных систем доставки, снижение реактивности адъювантов, расширение коммерческих вакцин для теплолюбивых и низкомаржинальных видов, а также внедрение цифрового мониторинга здоровья. Перспективная аквакультура будет опираться не на единичный препарат, а на управляемую профилактическую экосистему, где решение принимается на основе данных о патогене, хозяине и среде.

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. Маноян М.Г., Иванова А.Н., Панин А.Н., Иванов А.В. Пробиотики в аквакультуре: механизмы действия и технологические подходы (часть 1). *Аграрная наука*. 2026; 409(08): 53–65. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65
2. Ma J., Bruce T.J., Jones E.M., Cain K.D. A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms*. 2019; 7(11): 569. https://doi.org/10.3390/microorganisms7110569
3. Brudeseth B.E. *et al.* Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1759–1768. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.05.029
4. Sommerset I., Krossøy B., Biering E., Frost P. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*. 2005; 4(1): 89–101. https://doi.org/10.1586/14760584.4.1.89

REFERENCES

1. Manoyan M.G., Ivanova A.N., Panin A.N., Ivanov A.V. Probiotics in aquaculture: mechanisms of action and technological approaches (Part 1). *Agrarian science*. 2026; 409(08): 53–65 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65
2. Ma J., Bruce T.J., Jones E.M., Cain K.D. A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms*. 2019; 7(11): 569. https://doi.org/10.3390/microorganisms7110569
3. Brudeseth B.E. *et al.* Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1759–1768. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.05.029
4. Sommerset I., Krossøy B., Biering E., Frost P. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*. 2005; 4(1): 89–101. https://doi.org/10.1586/14760584.4.1.89

5. Plant K.P., LaPatra S.E. Advances in fish vaccine delivery. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1256–1262. https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.007
6. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Advances in Vaccine Adjuvants for Teleost Fish: Implications for Aquatic Welfare and the Potential of Nanoparticle-Based Formulations. *Vaccines*. 2024; 12(12): 1347. https://doi.org/10.3390/vaccines12121347
7. Heckman T.I., Shahin K., Henderson E.E., Griffin M.J., Soto E. Development and efficacy of *Streptococcus iniae* live-attenuated vaccines in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish Shellfish Immunol*. 2022; 121: 152–162. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.043
8. Dalmo R.A. DNA vaccines for fish: Review and perspectives on correlates of protection. *Journal of Fish Diseases*. 2018; 41(1): 1–9. https://www.doi.org/10.1111/jfd.12727
9. Leal C.A.G., Queiroz G.A., Pereira F.L., Tavares G.C., Figueiredo H.C.P. *Streptococcus agalactiae* Sequence Type 283 in Farmed Fish, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*. 2019; 25(4): 776–779. https://www.doi.org/10.3201/eid2504.180543
10. Miryala K.R., Swain B. Advances and Challenges in *Aeromonas hydrophila* Vaccine Development: Immunological Insights and Future Perspectives. *Vaccines*. 2025; 13(2): 202. https://doi.org/10.3390/vaccines13020202
11. Aly S.M., Al Zohairy M.A., Rahmani A.H., Fathi M., Atti N.M.A. Trials to improve the response of Orechromis niloticus to Aeromonas hydrophila vaccine using immunostimulants (garlic, Echinacea) and probiotics (Organic GreenTM and Vet-YeastTM). *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(21): 989–994. https://www.doi.org/10.5897/AJB2015.15155
12. Dhar A.K., Manna S.K., Thomas Allnutt F.C. Viral vaccines for farmed finfish. *VirusDisease*. 2014; 25(1): 1–17. https://www.doi.org/10.1007/s13337-013-0186-4
13. Munang'andu H.M., Evensen Ø. A Review of Intra- and Extracellular Antigen Delivery Systems for Virus Vaccines of Finfish. *Journal of Immunology Research*. 2015; 2015: 960859. https://www.doi.org/10.1155/2015/960859
14. Choudhury A. *et al.* Immunoinformatics approaches in developing a novel multi-epitope chimeric vaccine protective against *Saprolegnia parasitica*. *Scientific Reports*. 2024; 14: 2260. https://www.doi.org/10.1038/s41598-024-52223-z
15. LindholmLehto P.C., Pylkkö P. Saprolegniosis in aquaculture and how to control it?. *Aquaculture, Fish and Fisheries*. 2024; 4(4): e2200. https://www.doi.org/10.1002/aff2.200
16. Afzali S.F., Daud H.H.M., Sharifpour I., Afsharnasab M., Shankar S. Experimental infection of *Aphanomyces invadans* and susceptibility in seven species of tropical fish. *Veterinary World*. 2015; 8(9): 1038–1044. https://www.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1038-1044
17. Saikia D., Kamilya D. Immune responses and protection in catla (*Catla catla*) vaccinated against epizootic ulcerative syndrome. *Fish & Shellfish Immunology*. 2012; 32(2): 353–359. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2011.11.030
18. Beckmann M.J., Saraiva M., McLaggan D., Pottinger T.G., van West P. *Saprolegnia* infection after vaccination in Atlantic salmon is associated with differential expression of stress and immune genes in the host. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 106: 1095–1105. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.08.051
19. Pavić D. *et al.* Tracing the oomycete pathogen *Saprolegnia parasitica* in aquaculture and the environment. *Scientific Reports*. 2022; 12: 16646. https://www.doi.org/10.1038/s41598-022-16553-0
20. Rezinciuc S., Sandoval-Sierra J.V., Ruiz-León Y., van West P., Diéguez-Uribeondo J. Specialized attachment structure of the fish pathogenic oomycete *Saprolegnia parasitica*. *PLOS One*. 2018; 13(1): e0190361. https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0190361
21. Midtlyng P.J., Lillehaug A. Growth of Atlantic salmon *Salmo salar* after intraperitoneal administration of vaccines containing adjuvants. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1998; 32: 91–97. https://www.doi.org/10.3354/dao032091
22. Huo C. *et al.* Specificity of DNA Vaccines against the Genogroup J and U Infectious Hematopoietic Necrosis Virus Strains Prevalent in China. *Viruses*. 2022; 14(12): 2707. https://doi.org/10.3390/v14122707
23. Zhao L. *et al.* Evaluation of a DNA vaccine with self-designed CpG sequences against J genotype IHNV infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2024; 154: 109942. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109942
24. Yong C.Y. *et al.* Infectious hematopoietic necrosis virus: advances in diagnosis and vaccine development. *PeerJ*. 2019; 7: e7151. https://www.doi.org/10.7717/peerj.7151
25. Marsella A. *et al.* Efficacy of DNA Vaccines in Protecting Rainbow Trout against VHS and IHN under Intensive Farming Conditions. *Vaccines*. 2022; 10(12): 2062. https://doi.org/10.3390/vaccines10122062
26. Thorarinsson R. *et al.* Effects of a DNA and multivalent oil-adjuvanted vaccines against pancreas disease in Atlantic salmon (*Salmo salar*) challenged with salmonid alphavirus subtype 3. *Fish and Shellfish Immunology Reports*. 2022; 3: 100063. https://www.doi.org/10.1016/j.fsirep.2022.100063
27. Røsaeg M.V., Thorarinsson R., Aunsmo A. Effect of vaccines against pancreas disease in farmed Atlantic salmon. *Journal of Fish Diseases*. 2021; 44(12): 1911–1924. https://www.doi.org/10.1111/jfd.13505
28. Thorarinsson R. *et al.* Effect of pancreas disease vaccines on infection levels and virus transmission in Atlantic salmon (*Salmo salar*) challenged with salmonid alphavirus, genotype 2. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1342816. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2024.1342816
29. Tobar I. *et al.* Successive Oral Immunizations Against *Piscirickettsia Salmonis* and Infectious Salmon Anemia Virus are Required to Maintain a Long-Term Protection in Farmed Salmonids. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 244. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00244
30. Munang'andu H.M., Sandtrø A., Mutoloki S., Brudeseth B.E., Santi N., Evensen Ø. Immunogenicity and Cross Protective Ability of the Central VP2 Amino Acids of Infectious Pancreatic Necrosis Virus in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *PLOS One*. 2013; 8(1): e54263. https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0054263
31. Nakahira Y. *et al.* Mass Production of Virus-Like Particles Using Chloroplast Genetic Engineering for Highly Immunogenic Oral Vaccine Against Fish Disease. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 717952. https://www.doi.org/10.3389/fpls.2021.717952

5. Plant K.P., LaPatra S.E. Advances in fish vaccine delivery. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1256–1262. https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.007
6. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Advances in Vaccine Adjuvants for Teleost Fish: Implications for Aquatic Welfare and the Potential of Nanoparticle-Based Formulations. *Vaccines*. 2024; 12(12): 1347. https://doi.org/10.3390/vaccines12121347
7. Heckman T.I., Shahin K., Henderson E.E., Griffin M.J., Soto E. Development and efficacy of *Streptococcus iniae* live-attenuated vaccines in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish Shellfish Immunol*. 2022; 121: 152–162. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.043
8. Dalmo R.A. DNA vaccines for fish: Review and perspectives on correlates of protection. *Journal of Fish Diseases*. 2018; 41(1): 1–9. https://www.doi.org/10.1111/jfd.12727
9. Leal C.A.G., Queiroz G.A., Pereira F.L., Tavares G.C., Figueiredo H.C.P. *Streptococcus agalactiae* Sequence Type 283 in Farmed Fish, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*. 2019; 25(4): 776–779. https://www.doi.org/10.3201/eid2504.180543
10. Miryala K.R., Swain B. Advances and Challenges in *Aeromonas hydrophila* Vaccine Development: Immunological Insights and Future Perspectives. *Vaccines*. 2025; 13(2): 202. https://doi.org/10.3390/vaccines13020202
11. Aly S.M., Al Zohairy M.A., Rahmani A.H., Fathi M., Atti N.M.A. Trials to improve the response of Orechromis niloticus to Aeromonas hydrophila vaccine using immunostimulants (garlic, Echinacea) and probiotics (Organic GreenTM and Vet-YeastTM). *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(21): 989–994. https://www.doi.org/10.5897/AJB2015.15155
12. Dhar A.K., Manna S.K., Thomas Allnutt F.C. Viral vaccines for farmed finfish. *VirusDisease*. 2014; 25(1): 1–17. https://www.doi.org/10.1007/s13337-013-0186-4
13. Munang'andu H.M., Evensen Ø. A Review of Intra- and Extracellular Antigen Delivery Systems for Virus Vaccines of Finfish. *Journal of Immunology Research*. 2015; 2015: 960859. https://www.doi.org/10.1155/2015/960859
14. Choudhury A. *et al.* Immunoinformatics approaches in developing a novel multi-epitope chimeric vaccine protective against *Saprolegnia parasitica*. *Scientific Reports*. 2024; 14: 2260. https://www.doi.org/10.1038/s41598-024-52223-z
15. LindholmLehto P.C., Pylkkö P. Saprolegniosis in aquaculture and how to control it?. *Aquaculture, Fish and Fisheries*. 2024; 4(4): e2200. https://www.doi.org/10.1002/aff2.200
16. Afzali S.F., Daud H.H.M., Sharifpour I., Afsharnasab M., Shankar S. Experimental infection of *Aphanomyces invadans* and susceptibility in seven species of tropical fish. *Veterinary World*. 2015; 8(9): 1038–1044. https://www.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1038-1044
17. Saikia D., Kamilya D. Immune responses and protection in catla (*Catla catla*) vaccinated against epizootic ulcerative syndrome. *Fish & Shellfish Immunology*. 2012; 32(2): 353–359. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2011.11.030
18. Beckmann M.J., Saraiva M., McLaggan D., Pottinger T.G., van West P. *Saprolegnia* infection after vaccination in Atlantic salmon is associated with differential expression of stress and immune genes in the host. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 106: 1095–1105. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.08.051
19. Pavić D. *et al.* Tracing the oomycete pathogen *Saprolegnia parasitica* in aquaculture and the environment. *Scientific Reports*. 2022; 12: 16646. https://www.doi.org/10.1038/s41598-022-16553-0
20. Rezinciuc S., Sandoval-Sierra J.V., Ruiz-León Y., van West P., Diéguez-Uribeondo J. Specialized attachment structure of the fish pathogenic oomycete *Saprolegnia parasitica*. *PLOS One*. 2018; 13(1): e0190361. https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0190361
21. Midtlyng P.J., Lillehaug A. Growth of Atlantic salmon *Salmo salar* after intraperitoneal administration of vaccines containing adjuvants. *Diseases of Aquatic Organisms*. 1998; 32: 91–97. https://www.doi.org/10.3354/dao032091
22. Huo C. *et al.* Specificity of DNA Vaccines against the Genogroup J and U Infectious Hematopoietic Necrosis Virus Strains Prevalent in China. *Viruses*. 2022; 14(12): 2707. https://doi.org/10.3390/v14122707
23. Zhao L. *et al.* Evaluation of a DNA vaccine with self-designed CpG sequences against J genotype IHNV infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2024; 154: 109942. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109942
24. Yong C.Y. *et al.* Infectious hematopoietic necrosis virus: advances in diagnosis and vaccine development. *PeerJ*. 2019; 7: e7151. https://www.doi.org/10.7717/peerj.7151
25. Marsella A. *et al.* Efficacy of DNA Vaccines in Protecting Rainbow Trout against VHS and IHN under Intensive Farming Conditions. *Vaccines*. 2022; 10(12): 2062. https://doi.org/10.3390/vaccines10122062
26. Thorarinsson R. *et al.* Effects of a DNA and multivalent oil-adjuvanted vaccines against pancreas disease in Atlantic salmon (*Salmo salar*) challenged with salmonid alphavirus subtype 3. *Fish and Shellfish Immunology Reports*. 2022; 3: 100063. https://www.doi.org/10.1016/j.fsirep.2022.100063
27. Røsaeg M.V., Thorarinsson R., Aunsmo A. Effect of vaccines against pancreas disease in farmed Atlantic salmon. *Journal of Fish Diseases*. 2021; 44(12): 1911–1924. https://www.doi.org/10.1111/jfd.13505
28. Thorarinsson R. *et al.* Effect of pancreas disease vaccines on infection levels and virus transmission in Atlantic salmon (*Salmo salar*) challenged with salmonid alphavirus, genotype 2. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1342816. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2024.1342816
29. Tobar I. *et al.* Successive Oral Immunizations Against *Piscirickettsia Salmonis* and Infectious Salmon Anemia Virus are Required to Maintain a Long-Term Protection in Farmed Salmonids. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 244. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00244
30. Munang'andu H.M., Sandtrø A., Mutoloki S., Brudeseth B.E., Santi N., Evensen Ø. Immunogenicity and Cross Protective Ability of the Central VP2 Amino Acids of Infectious Pancreatic Necrosis Virus in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *PLOS One*. 2013; 8(1): e54263. https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0054263
31. Nakahira Y. *et al.* Mass Production of Virus-Like Particles Using Chloroplast Genetic Engineering for Highly Immunogenic Oral Vaccine Against Fish Disease. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 717952. https://www.doi.org/10.3389/fpls.2021.717952

32. Yang J.I. *et al.* High immunogenicity of virus-like particles (VLPs) decorated with *Aeromonas salmonicida* VapA antigen in rainbow trout. *Frontiers in Immunology*. 2023; 14: 1139206. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2023.1139206
33. Chamtim P. *et al.* Combining segments 9 and 10 in DNA and recombinant protein vaccines conferred superior protection against tilapia lake virus in hybrid red tilapia (*oreochromis* sp.) compared to single segment vaccines. *Frontiers in Immunology*. 2022; 13: 935480. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2022.935480
34. Mai T.T. *et al.* Immunization of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Broodstock with Tilapia Lake Virus (TiLV) Inactivated Vaccines Elicits Protective Antibody and Passive Maternal Antibody Transfer. *Vaccines*. 2022; 10(2): 167. https://doi.org/10.3390/vaccines10020167
35. Thompson K.D. *et al.* Addressing Nanovaccine Strategies for Tilapia. *Vaccines*. 2023; 11(8): 1356. https://doi.org/10.3390/vaccines11081356
36. WOAH. Aquatic Animal Health Code. 26th edition. Paris: *World Organisation for Animal Health*. 2024; xvii, 334, iii. https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en_csaa_2024.pdf
37. Priya J.T.J., Kappalli S. Modern biotechnological strategies for vaccine development in aquaculture – Prospects and challenges. *Vaccine*. 2022; 40(41): 5873–5881. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2022.08.075
38. Adamek M. *et al.* Don't Let It Get Under Your Skin! – Vaccination Protects the Skin Barrier of Common Carp From Disruption Caused by *Cyprinid Herpesvirus* 3. *Frontiers in Immunology*. 2022; 13: 787021. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2022.787021
39. Tafalla C., Bøgwald J., Dalmo R.A. Adjuvants and immunostimulants in fish vaccines: Current knowledge and future perspectives. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1740–1750. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.02.029
40. Mutoloki S., Munang'andu H.M., Evensen Ø. Oral Vaccination of Fish – Antigen Preparations, Uptake, and Immune Induction. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 519. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00519
41. Embregts C.W.E., Forlenza M. Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species. *Developmental & Comparative Immunology*. 2016; 64: 118–137. https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.024
42. Soltani M., Lymbery A., Song S.K., Shekarabi P.H. Adjuvant effects of medicinal herbs and probiotics for fish vaccines. *Reviews in Aquaculture*. 2019; 11(4): 1325–1341. https://www.doi.org/10.1111/raq.12295
43. Shao Y., Zhao J., Li T., Liu W., Lu T., Xu L. Evaluation of protective effect of infectious hematopoietic necrosis (IHN) oral DNA vaccine wrapped with 4 different delivery vectors against IHN virus (IHNV) infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2026; 168: 111003. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2025.111003
44. Gorgoglione B., Liu J.-T., Li J., Vakharia V.N. The efficacy of new oral vaccine feeds against *Salmonid novirhabdovirus* in rainbow trout. *Fish and Shellfish Immunology Reports*. 2023; 4: 100082. https://www.doi.org/10.1016/j.fsirep.2023.100082
45. Gonçalves G. *et al.* Oral vaccination of fish against vibriosis using spore-display technology. *Frontiers in Immunology*. 2022; 13: 1012301. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2022.1012301
46. Gonçalves G. *et al.* Antigen-displaying probiotic *Bacillus subtilis* spores induce subtle, strain-dependent immunomodulation in fish. *Frontiers in Marine Science*. 2026; 13: 1774354. https://www.doi.org/10.3389/fmars.2026.1774354
47. De Stefano *et al.* Probiotic spore-based antigen delivery: a novel oral vaccine strategy against *Vibrio* infections in aquaculture. *Microbial Cell Factories*. 2025; 24: 96. https://www.doi.org/10.1186/s12934-025-02725-w
48. Tayyab M., Islam W., Waqas W., Zhang Y. Probiotic–Vaccine Synergy in Fish Aquaculture: Exploring Microbiome-Immune Interactions for Enhanced Vaccine Efficacy. *Biology*. 2025; 14(6): 629. https://doi.org/10.3390/biology14060629
49. Balcázar J.L., de Blas I., Ruiz-Zarzuela I., Cunningham D., Vendrell D., Múzquiz J.L. The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary Microbiology*. 2006; 114(3–4): 173–186. https://www.doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.01.009
50. Fox B.E., Vilander A.C., Gilfillan D., Dean G.A., Abdo Z. Oral Vaccination Using a Probiotic Vaccine Platform Combined with Prebiotics Impacts Immune Response and the Microbiome. *Vaccines*. 2022; 10(9): 1465. https://doi.org/10.3390/vaccines10091465
51. Vijayaram S. *et al.* Advancing Aquaculture Health and Efficiency: A Comprehensive Update on Synbiotic Applications in Fish and Shellfish Farming. *Current Microbiology*. 2026; 83(3): 162. https://www.doi.org/10.1007/s00284-025-04662-8
52. Choudhray P., Siddaiah G.M., Debbarma J., Muduli C. Dietary supplementation of *Bacillus amyloliquefaciens* and -glucan, both individually and in conjunction effected growth performance, skin mucosal immunity, mRNA expression, and disease protection against *Aeromonas hydrophila* in striped snakehead, *Channa striata* (Bloch 1793). *Fish & Shellfish Immunology*. 2025; 169: 111063. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2025.111063
53. Linda S.S., Islam M.J., Mou S.A., Islam M.H., Shahjahan M., Islam M.S. Synbiotic Supplementation Boosts Growth, Gut Health, and Immunity in Asian Fossil Catfish (*Heteropneustes fossilis*). *Aquaculture Research*. 2025; 2025: 4542077. https://www.doi.org/10.1155/are/4542077
54. Noreen A. *et al.* Impact of Dietary Supplements on Growth, Immunity, and Feed Efficiency in Aquaculture Fish. *Annual Methodological Archive Research Review*. 2025; 3(8): 649–660. https://www.doi.org/10.63075/e57pnf83
55. Zhao C., Men X., Dang Y., Zhou Y, Ren Y. Probiotics Mediate Intestinal Microbiome and Microbiota-Derived Metabolites Regulating the Growth and Immunity of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microbiology Spectrum*. 2023; 11(2): e03980-22. https://www.doi.org/10.1128/spectrum.03980-22
56. Kazuń B., Małaczewska J., Kazuń K., Żylińska-Urban J., Siwicki A.K. Immune-enhancing activity of potential probiotic strains of *Lactobacillus plantarum* in the common carp (*Cyprinus carpio*) fingerling. *Journal of Veterinary Research*. 2018; 62(4): 485–492. https://www.doi.org/10.2478/jvetres-2018-0062
57. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms Used by Probiotics to Confer Pathogen Resistance to Teleost Fish. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 653025. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.653025
58. Salinas I., Parra D. Fish mucosal immunity: intestine. Beck B.H., Peatman E. (eds.). Mucosal Health in Aquaculture. *Academic Press*. 2015; 135–170. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00006-6

32. Yang J.I. *et al.* High immunogenicity of virus-like particles (VLPs) decorated with *Aeromonas salmonicida* VapA antigen in rainbow trout. *Frontiers in Immunology*. 2023; 14: 1139206. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2023.1139206
33. Chamtim P. *et al.* Combining segments 9 and 10 in DNA and recombinant protein vaccines conferred superior protection against tilapia lake virus in hybrid red tilapia (*oreochromis* sp.) compared to single segment vaccines. *Frontiers in Immunology*. 2022; 13: 935480. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2022.935480
34. Mai T.T. *et al.* Immunization of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Broodstock with Tilapia Lake Virus (TiLV) Inactivated Vaccines Elicits Protective Antibody and Passive Maternal Antibody Transfer. *Vaccines*. 2022; 10(2): 167. https://doi.org/10.3390/vaccines10020167
35. Thompson K.D. *et al.* Addressing Nanovaccine Strategies for Tilapia. *Vaccines*. 2023; 11(8): 1356. https://doi.org/10.3390/vaccines11081356
36. WOAH. Aquatic Animal Health Code. 26th edition. Paris: *World Organisation for Animal Health*. 2024; xvii, 334, iii. https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en_csaa_2024.pdf
37. Priya J.T.J., Kappalli S. Modern biotechnological strategies for vaccine development in aquaculture – Prospects and challenges. *Vaccine*. 2022; 40(41): 5873–5881. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2022.08.075
38. Adamek M. *et al.* Don't Let It Get Under Your Skin! – Vaccination Protects the Skin Barrier of Common Carp From Disruption Caused by *Cyprinid Herpesvirus* 3. *Frontiers in Immunology*. 2022; 13: 787021. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2022.787021
39. Tafalla C., Bøgwald J., Dalmo R.A. Adjuvants and immunostimulants in fish vaccines: Current knowledge and future perspectives. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1740–1750. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.02.029
40. Mutoloki S., Munang'andu H.M., Evensen Ø. Oral Vaccination of Fish – Antigen Preparations, Uptake, and Immune Induction. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 519. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00519
41. Embregts C.W.E., Forlenza M. Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species. *Developmental & Comparative Immunology*. 2016; 64: 118–137. https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.024
42. Soltani M., Lymbery A., Song S.K., Shekarabi P.H. Adjuvant effects of medicinal herbs and probiotics for fish vaccines. *Reviews in Aquaculture*. 2019; 11(4): 1325–1341. https://www.doi.org/10.1111/raq.12295
43. Shao Y., Zhao J., Li T., Liu W., Lu T., Xu L. Evaluation of protective effect of infectious hematopoietic necrosis (IHN) oral DNA vaccine wrapped with 4 different delivery vectors against IHN virus (IHNV) infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2026; 168: 111003. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2025.111003
44. Gorgoglione B., Liu J.-T., Li J., Vakharia V.N. The efficacy of new oral vaccine feeds against *Salmonid novirhabdovirus* in rainbow trout. *Fish and Shellfish Immunology Reports*. 2023; 4: 100082. https://www.doi.org/10.1016/j.fsirep.2023.100082
45. Gonçalves G. *et al.* Oral vaccination of fish against vibriosis using spore-display technology. *Frontiers in Immunology*. 2022; 13: 1012301. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2022.1012301
46. Gonçalves G. *et al.* Antigen-displaying probiotic *Bacillus subtilis* spores induce subtle, strain-dependent immunomodulation in fish. *Frontiers in Marine Science*. 2026; 13: 1774354. https://www.doi.org/10.3389/fmars.2026.1774354
47. De Stefano *et al.* Probiotic spore-based antigen delivery: a novel oral vaccine strategy against *Vibrio* infections in aquaculture. *Microbial Cell Factories*. 2025; 24: 96. https://www.doi.org/10.1186/s12934-025-02725-w
48. Tayyab M., Islam W., Waqas W., Zhang Y. Probiotic–Vaccine Synergy in Fish Aquaculture: Exploring Microbiome-Immune Interactions for Enhanced Vaccine Efficacy. *Biology*. 2025; 14(6): 629. https://doi.org/10.3390/biology14060629
49. Balcázar J.L., de Blas I., Ruiz-Zarzuela I., Cunningham D., Vendrell D., Múzquiz J.L. The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary Microbiology*. 2006; 114(3–4): 173–186. https://www.doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.01.009
50. Fox B.E., Vilander A.C., Gilfillan D., Dean G.A., Abdo Z. Oral Vaccination Using a Probiotic Vaccine Platform Combined with Prebiotics Impacts Immune Response and the Microbiome. *Vaccines*. 2022; 10(9): 1465. https://doi.org/10.3390/vaccines10091465
51. Vijayaram S. *et al.* Advancing Aquaculture Health and Efficiency: A Comprehensive Update on Synbiotic Applications in Fish and Shellfish Farming. *Current Microbiology*. 2026; 83(3): 162. https://www.doi.org/10.1007/s00284-025-04662-8
52. Choudhray P., Siddaiah G.M., Debbarma J., Muduli C. Dietary supplementation of *Bacillus amyloliquefaciens* and -glucan, both individually and in conjunction effected growth performance, skin mucosal immunity, mRNA expression, and disease protection against *Aeromonas hydrophila* in striped snakehead, *Channa striata* (Bloch 1793). *Fish & Shellfish Immunology*. 2025; 169: 111063. https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2025.111063
53. Linda S.S., Islam M.J., Mou S.A., Islam M.H., Shahjahan M., Islam M.S. Synbiotic Supplementation Boosts Growth, Gut Health, and Immunity in Asian Fossil Catfish (*Heteropneustes fossilis*). *Aquaculture Research*. 2025; 2025: 4542077. https://www.doi.org/10.1155/are/4542077
54. Noreen A. *et al.* Impact of Dietary Supplements on Growth, Immunity, and Feed Efficiency in Aquaculture Fish. *Annual Methodological Archive Research Review*. 2025; 3(8): 649–660. https://www.doi.org/10.63075/e57pnf83
55. Zhao C., Men X., Dang Y., Zhou Y, Ren Y. Probiotics Mediate Intestinal Microbiome and Microbiota-Derived Metabolites Regulating the Growth and Immunity of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microbiology Spectrum*. 2023; 11(2): e03980-22. https://www.doi.org/10.1128/spectrum.03980-22
56. Kazuń B., Małaczewska J., Kazuń K., Żylińska-Urban J., Siwicki A.K. Immune-enhancing activity of potential probiotic strains of *Lactobacillus plantarum* in the common carp (*Cyprinus carpio*) fingerling. *Journal of Veterinary Research*. 2018; 62(4): 485–492. https://www.doi.org/10.2478/jvetres-2018-0062
57. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms Used by Probiotics to Confer Pathogen Resistance to Teleost Fish. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 653025. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.653025
58. Salinas I., Parra D. Fish mucosal immunity: intestine. Beck B.H., Peatman E. (eds.). Mucosal Health in Aquaculture. *Academic Press*. 2015; 135–170. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00006-6

59. Lee P.-T., Yamamoto F.Y., Low C.-F., Loh J.-Y., Chong C.-M. Gut Immune System and the Implications of Oral-Administered Immunoprophylaxis in Finfish Aquaculture. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 773193. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.773193
60. Ghasemieshkaftaki M., Cao T., Hossain A., Vasquez I., Santander J. Haemato-Immunological Response of Immunized Atlantic Salmon (*Salmo salar*) to *Moritella viscosa* Challenge and Antigens. *Vaccines*. 2024; 12(1): 70. https://doi.org/10.3390/vaccines12010070
61. Cheng G. *et al.* Multi-omics analysis reveals that *Bacillus* spp. enhance mucosal antiviral immunity in teleost fish by mediating diglyceride production through lipid metabolism. *Microbiome*. 2025; 13: 123. https://www.doi.org/10.1186/s40168-025-02124-8
62. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in Action. Rome: *FAO*. 2024; 264. ISBN 978-92-5-138763-4. https://www.doi.org/10.4060/cd0683en
63. Hlordzi V. *et al.* The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100503. https://www.doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503
64. Mohammed E.A.H., Ahmed A.E.M., Kov cs B., P I K. The Significance of Probiotics in Aquaculture: A Review of Research Trend and Latest Scientific Findings. *Antibiotics*. 2025; 14(3): 242. https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242
65. Hoseinifar S.H., Sun Y.Z., Wang A., Zhou Z. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2429. https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429
66. Цицкиева К.Р., Бетляева Ф.Х., Маркин Ю.В. Использование пробиотика «Бацифолин А» при выращивании радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в условиях интенсивного рыбоводства. *Рыбное хозяйство*. 2024; (6): 83–89. EDN NPEWKI
67. Charo F.J., Mbuthia P.G., Bebora L.C., Nguta J.M. Influence of aquaculture management practices and water quality on bacterial occurrence in fish culture units in Kenya. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2023; 11(2-A): 1–7. https://www.doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2782
68. Wanja D.W. *et al.* Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International*. 2020; 2020: 6839354. https://www.doi.org/10.1155/2020/6839354
69. Mramba R.P., Kahindi E.J. Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16753. https://www.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753
70. Pavić D., Geček S., Miljanović A., Grbin D., Bielen A. Characterization of Bacterial Communities on Trout Skin and Eggs in Relation to *Saprolegnia parasitica* Infection Status. *Microorganisms*. 2024; 12(8): 1733. https://doi.org/10.3390/microorganisms12081733
71. Calcagnile M., Tredici S.M., Alifano P. A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon*. 2024; 10(24): e40892. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892
72. Torres-Maravilla E. *et al.* Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*. 2024; 12(3): 626. https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626
73. Mistri A., Sardar S. Srivastava A. Mucosal immunity of farmed fish within aquaculture: Mechanisms, challenges, and advances. *Aquaculture International*. 2025; 33(7): 665. https://www.doi.org/10.1007/s10499-025-02353-6
74. González-Palacios C., Fregeneda-Grandes J.-M., Aller-Gancedo J.-M. Possible Mechanisms of Action of Two *Pseudomonas fluorescens* Isolates as Probiotics on Saprolegniosis Control in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Animals*. 2020; 10(9): 1507. https://doi.org/10.3390/ani10091507
75. Gatesoupe F.-J. Updating the Importance of Lactic Acid Bacteria in Fish Farming: Natural Occurrence and Probiotic Treatments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 2008; 14(1–3): 107–114. https://www.doi.org/10.1159/000106089
76. Rahayu S. *et al.* Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1455905. https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905
77. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Transforming Aquaculture through Vaccination: A Review on Recent Developments and Milestones. *Vaccines*. 2024; 12(7): 732. https://doi.org/10.3390/vaccines12070732

59. Lee P.-T., Yamamoto F.Y., Low C.-F., Loh J.-Y., Chong C.-M. Gut Immune System and the Implications of Oral-Administered Immunoprophylaxis in Finfish Aquaculture. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 773193. https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.773193
60. Ghasemieshkaftaki M., Cao T., Hossain A., Vasquez I., Santander J. Haemato-Immunological Response of Immunized Atlantic Salmon (*Salmo salar*) to *Moritella viscosa* Challenge and Antigens. *Vaccines*. 2024; 12(1): 70. https://doi.org/10.3390/vaccines12010070
61. Cheng G. *et al.* Multi-omics analysis reveals that *Bacillus* spp. enhance mucosal antiviral immunity in teleost fish by mediating diglyceride production through lipid metabolism. *Microbiome*. 2025; 13: 123. https://www.doi.org/10.1186/s40168-025-02124-8
62. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in Action. Rome: *FAO*. 2024; 264. ISBN 978-92-5-138763-4. https://www.doi.org/10.4060/cd0683en
63. Hlordzi V. *et al.* The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100503. https://www.doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503
64. Mohammed E.A.H., Ahmed A.E.M., Kov cs B., P I K. The Significance of Probiotics in Aquaculture: A Review of Research Trend and Latest Scientific Findings. *Antibiotics*. 2025; 14(3): 242. https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242
65. Hoseinifar S.H., Sun Y.Z., Wang A., Zhou Z. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2429. https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429
66. Tsitskieva K.R., Betlyaeva F.H., Markin Yu.V. Use of the probiotic «Bacifolin A» in growing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under intensive fish farming conditions. *Fisheries*. 2024; (6): 83–89 (in Russian). EDN NPEWKI
67. Charo F.J., Mbuthia P.G., Bebora L.C., Nguta J.M. Influence of aquaculture management practices and water quality on bacterial occurrence in fish culture units in Kenya. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2023; 11(2-A): 1–7. https://www.doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2782
68. Wanja D.W. *et al.* Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International*. 2020; 2020: 6839354. https://www.doi.org/10.1155/2020/6839354
69. Mramba R.P., Kahindi E.J. Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16753. https://www.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753
70. Pavić D., Geček S., Miljanović A., Grbin D., Bielen A. Characterization of Bacterial Communities on Trout Skin and Eggs in Relation to *Saprolegnia parasitica* Infection Status. *Microorganisms*. 2024; 12(8): 1733. https://doi.org/10.3390/microorganisms12081733
71. Calcagnile M., Tredici S.M., Alifano P. A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon*. 2024; 10(24): e40892. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892
72. Torres-Maravilla E. *et al.* Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*. 2024; 12(3): 626. https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626
73. Mistri A., Sardar S. Srivastava A. Mucosal immunity of farmed fish within aquaculture: Mechanisms, challenges, and advances. *Aquaculture International*. 2025; 33(7): 665. https://www.doi.org/10.1007/s10499-025-02353-6
74. González-Palacios C., Fregeneda-Grandes J.-M., Aller-Gancedo J.-M. Possible Mechanisms of Action of Two *Pseudomonas fluorescens* Isolates as Probiotics on Saprolegniosis Control in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Animals*. 2020; 10(9): 1507. https://doi.org/10.3390/ani10091507
75. Gatesoupe F.-J. Updating the Importance of Lactic Acid Bacteria in Fish Farming: Natural Occurrence and Probiotic Treatments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 2008; 14(1–3): 107–114. https://www.doi.org/10.1159/000106089
76. Rahayu S. *et al.* Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1455905. https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905
77. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Transforming Aquaculture through Vaccination: A Review on Recent Developments and Milestones. *Vaccines*. 2024; 12(7): 732. https://doi.org/10.3390/vaccines12070732

ОБ АВТОРАХ

Марина Геворковна Маноян
кандидат ветеринарных наук, начальник отдела микологии
mycology@vgnki.ru
https://orcid.org/ 0000-0001-6347-413X

Анна Николаевна Иванова
кандидат экономических наук, заведующий отделом научного планирования и НИР
mycology@vgnki.ru https://orcid.org/000-0003-3481-7556
a.ivanova@vgnki.ru

Александр Николаевич Панин
доктор ветеринарных наук, профессор, академик Российской академии наук
alexanderpanin5083@gmail.com
https://orcid.org/ 0000-0002-6001-6739

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

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

ABOUT THE AUTHORS

Marina Gevorkovna Manoyan
Candidate of Veterinary Sciences, Chief of Mycology Department
mycology@vgnki.ru
https://orcid.org/ 0000-0001-6347-413X

Anna Nikolaevna Ivanova
Candidate of Economics Science, Head of the Scientific Researches Department
a.ivanova@vgnki.ru
https://orcid.org/0000-0003-3481-7556

Alexander Nikolaevich Panin
Doctor of Veterinary Sciences, Professor, full member of the Russian Academy of Science
alexanderpanin5083@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-6001-6739

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

All-Russian State Center for Quality and Standardization of Medicines for Animals and Feed,
5 Zvenigorodskoe highway, Moscow, 123022, Russia

УДК 637.54:613.2

Научный обзор

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-42-55

Я.М. Ребезов[1] ✉

М.Б. Ребезов[2]

[1]Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

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

✉ *yaroslavreb@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 25.04.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

© Ребезов Я.М., Ребезов М.Б.

Мясо водоплавающей дичи: пищевая ценность, биологические и химические риски для здоровья (научный обзор)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Водоплавающая дичь (утки, гуси, лысуха) является одним из самых массовых и доступных объектов охоты в России, занимая лидирующее место в добыче охотников-любителей. Мясо этих птиц традиционно используется в личном потреблении и воспринимается как ценный диетический продукт, что соответствует современным трендам здорового питания. Однако разрозненность научных данных о безопасности водоплавающей дичи, особенно в условиях высокой антропогенной нагрузки и циркуляции зоонозных патогенов, создает потенциальные риски для здоровья потребителей и обусловливает необходимость систематизации имеющихся сведений.

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

Результаты. Мясо водоплавающей дичи характеризуется высоким содержанием белка, низким уровнем жира, что подтверждает его диетическую ценность. В то же время выявлены значительные биологические и химические риски: водоплавающие птицы служат резервуаром высокопатогенного гриппа птиц, *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, *E. coli*, а также паразитов (*Sarcocystis rileyi*, *Cryptosporidium* spp., гельминты с экстенсивностью инвазии до 40%). Наибольшую угрозу представляет свинцовое отравление (плюмбизм), обусловленное заглатыванием дроби; во многих исследованиях зафиксировано превышение ПДК свинца в грудных мышцах, что делает мясо непригодным для систематического употребления, особенно уязвимыми группами населения. Полученные данные свидетельствуют о необходимости тщательной ветеринарно-санитарной экспертизы, замены свинцовой дроби на альтернативные боеприпасы, а также информирование охотников и потребителей о потенциальных угрозах.

Ключевые слова: пернатая дичь, водоплавающие птицы, дикая утка, дикий гусь, лысуха, мясо промыслового животного, безопасность мяса, физико-химический состав, токсичные элементы, зоонозные инфекции, высокопатогенный грипп птиц

Для цитирования: Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Мясо водоплавающей дичи: пищевая ценность, биологические и химические риски для здоровья (научный обзор). *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 42–55.

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-42-55

Rewiev

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-42-55

Yaroslav M. Rebezov[1] ✉

Maksim B. Rebezov[2, 3]

[1]Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

[2]Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ *yaroslavreb@yandex.ru*

Received by the editorial office: 25.04.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

© Rebezov Ya.M., Rebezov M.B.

Waterfowl Meat: Nutritional Value, Biological and Chemical Health Risks (A Scientific Review)

ABSTRACT

Relevance. Waterfowl (ducks, geese, and coots) are among the most common and accessible game birds in Russia, occupying a leading position among recreational hunters. The meat of these birds is traditionally used for personal consumption and is perceived as a valuable dietary product, consistent with modern healthy eating trends. However, the fragmented scientific data on the safety of waterfowl, especially in conditions of high anthropogenic load and the circulation of zoonotic pathogens, creates potential health risks for consumers and necessitates systematization of existing information.

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

Results. Waterfowl meat is characterized by a high protein content and low fat content, confirming its nutritional value. At the same time, significant biological and chemical risks have been identified: waterfowl serve as reservoirs for highly pathogenic avian influenza, *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, *E. coli*, and parasites (*Sarcocystis rileyi*, *Cryptosporidium* spp., and helminths with an infection rate of up to 40%). Lead poisoning (plumbism) caused by ingestion of shot represents the greatest threat; numerous studies have documented lead levels in breast muscles exceeding the permissible concentration, making the meat unsuitable for regular consumption, especially by vulnerable groups. These findings highlight the need for thorough veterinary and sanitary inspections, the replacement of lead shot with alternative ammunition, and the education of hunters and consumers about potential hazards.

Key words: game birds, waterfowl, wild duck, wild goose, coot, game meat, meat safety, physicochemical composition, toxic elements, zoonotic infections, highly pathogenic avian influenza

For citation: Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Waterfowl Meat: Nutritional Value, Biological and Chemical Health Risks (A Scientific Review). *Agrarian science.* 2026; 410(09): 42–55 (in Russian).

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-42-55

Введение/Introduction

В структуре природно-хозяйственного комплекса России охотничье хозяйство формируется двумя ключевыми элементами: используемыми охотничьими угодьями и состоянием популяций охотничьих в их пределах [1–3]. На современном этапе мясо и субпродукты дичи остаются слабо востребованным природным резервом для коррекции структуры питания населения. Реализация его потенциала возможна при условии развития доступности и безопасности охотничьей продукции, что выступает одной из задач в рамках Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации[1] [2].

В предпочтениях потребителей прослеживается тренд на продукты с пониженным содержанием липидов и повышенной долей белка, что обусловлено стремлением населения к формированию более здорового рациона. Отсутствие в мясе диких животных гормональных препаратов и антибиотиков, широко применяемых в промышленном животноводстве, позволяет рассматривать данный продукт не только как источник эссенциальных нутриентов, но и как компонент функционального или специализированного питания, обладающий повышенной биологической ценностью и определенной экзотичностью для потребителя [2, 4, 5].

Пернатая дичь является наиболее распространенным охотничьим ресурсом. Это объясняется ее высокой численностью, повсеместным распространением в различных биотопах и сравнительной простотой добычи. Как следствие, охота на птиц доступна для всех категорий — как для профессиональных промысловиков, так и для охотников-любителей, что существенно увеличивает антропогенную нагрузку на популяции, в том числе водоплавающих видов [1].

Водоплавающая дичь, в первую очередь утки, являются одними из самых популярных и доступных объектов охоты в России[2].

В добыче охотников-любителей водоплавающая дичь занимает лидирующее положение, превосходя лесные и полевые виды в 2–3 раза [6]. Такое соотношение связано с высокой численностью уток, доступностью охоты на них для всех категорий охотников, а также с обилием водоемов, создающих исключительно благоприятные условия для обитания этой группы птиц на территории России.

Согласно приказу Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты»[3], к водоплавающей дичи относятся гуси, казарки, утки, лысуха, камышница.

Утки (речные и нырковые) — наиболее массовая и разнообразная группа водоплавающей дичи. На территории Российской Федерации обитают более 40 видов уток [7, 8]. Речные утки (кряква, чирки, шилохвость, серая утка, широконоска, свиязь) предпочитают мелководья с зарослями, кормятся в основном на поверхности или опрокидываясь, моногамия выражена слабо, селезни в воспитании выводка не участвуют. Нырковые утки (хохлатая чернеть, гоголь, морская чернеть, морянка, красноголовый и красноносый нырки, синьга, турпаны, крохали) отлично ныряют, держатся на глубоких открытых плесах, питаются водными беспозвоночными и мелкой рыбой[4] [9]. Наиболее распространенной и самой популярной у охотников является обыкновенная кряква (*Anas platyrhynchos)*. Гнездится и встречается на пролете кряква почти на всей территории бывшего СССР, за исключением северных районов[4].

Гуси (*Anser*) — крупные птицы с плотным телосложением, моногамы, с устойчивыми парами и участием самца в охране гнезда и выводка. В качестве объекта охоты наиболее распространены серый гусь (*Anser anser*), гуменник (*Anser fabalis*) и белолобый гусь (*Anser albifrons*). Гуси кормятся преимущественно на суше (поля, луга, ягодники), летают тяжело, но быстро, исключительно осторожны, привязаны к проверенным местам. В период линьки теряют способность к полету и скрываются в труднодоступных крепях. Охота на гусей сложна и требует тщательной маскировки, профилей или чучел[4].

Казарки (*Branta)* — группа водоплавающих, близкая к гусям. Птицы отличаются более мелким размером, темной окраской и часто с характерными белыми отметинами на голове и шее. В качестве основных объектов для охоты выделяются малая белолобая казарка (*Anser erythropus*). Казарки — перелетные птицы, крайне осторожные, держатся отдельно от гусей, а в полете часто не соблюдают строя[4].

Лысуха (*Fulica atra)* — представитель семейства пастушковых, внешне напоминает утку, но имеет кожистую бляшку на лбу («лысину») и длинные пальцы с лопастями. Хорошо плавает и ныряет, гнездится на заломах тростника над водой, в отличие от уток часто коллективно защищается от хищников. Основу рациона составляет легко доступные корма растительного происхождения. В России специально на лысуху охотятся редко[4, 5] [10].

Камышница (*Gallinula chloropus*) — мелкая водоплавающая птица. Характеризуется как болотная дичь, ведущая скрытный образ жизни в прибрежных зарослях и не являющаяся типичным объектом спортивной охоты на водоплавающих. В России охота на камышниц открывается только в летне-осенний период — с августа по ноябрь.

[1] Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации
[2] (URL: https://beararms.ru/news/osnovnye-vidy-pernatoy-dichi/?ysclid=mpcsdbzs56222650845)
[3] Приказ Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты» (в ред. Приказа Минприроды России от 27.05.2021 N 366)
[4] Русанов Я.С. Водоплавающая дичь. М.: Агропромиздат, 1987; 190 с.
[5] URL: https://guns.club/lib/okhota/lysukha-erzats-utka-ili-polnotsennyy-obekt-okhoty/?ysclid=mpd1xvo4t5446062951

Из-за скрытного образа жизни и относительно невысокой численности охота на камышниц не распространена[4, 5].

Осенью водоплавающие птицы начинают активную подготовку к перелету или зимнему пребыванию, что отражается на их поведении и привычках местоположения. В это время утки и гуси объединяются в крупные группы, посещая поля и водоемы для пропитания. Весной активность птиц заметно уменьшается, они предпочитают держаться скрытых участков водоемов и мелководья[4].

Несмотря на восприятие дичи как экзотического (а потому — ценного) и экологически чистого продукта, ее потребление сопряжено с потенциальными угрозами для здоровья человека. Пернатая дичь служит надежным индикатором экологического состояния угодий. Ухудшение качества среды обитания (химическое загрязнение, изменение гидрологического режима водоемов) прямо и достоверно влияет на качество и безопасность продукции ее добычи, что особенно актуально для водоплавающих видов, аккумулирующих ксенобиотики. Мясо диких животных может быть источником возбудителей зоонозных инфекций и паразитарных заболеваний, а также аккумулировать повышенные уровни тяжелых металлов и радионуклидов [4, 11, 12].

Существующий объем научных данных, характеризующих пищевую ценность и безопасность мяса водоплавающей дичи, остается фрагментарным, что создает потенциальные риски для здоровья потребителей.

Поэтому *целью данного научного обзора* являлось обобщение и анализ существующих научных данных о пищевой ценности, биологических, химических и паразитарных угрозах безопасности мяса водоплавающей дичи.

Материал и методы исследования / Material and methods

Настоящая работа представляет собой нарративный научный обзор, не предполагавший регистрации протокола в PROSPERO.

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 Scopus[6], eLibrary[7], PubMed[8], Google Scholar[9], Science Direct[10], доступным нормативно-правовым актам стран и источникам в открытом доступе сети Internet. Были изучены списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных источников информации.

Данные были проанализированы с целью систематизации сведений о безопасности и потенциальных рисках реализации мяса водоплавающей дичи.

Поисковые запросы формулировали на русском и английском языках с использованием логических операторов *AND, OR, NOT* в следующих комбинациях ключевых слов:

– на русском языке: *(водоплавающая дичь ИЛИ дикая* утка ИЛИ дикий гусь ИЛИ лысуха ИЛИ кряква) И (безопасность мяса ИЛИ дичь ИЛИ загрязнение ИЛИ тяжелые металлы ИЛИ свинец ИЛИ зоонозные инфекции ИЛИ грипп птиц);

– на английском языке: *(waterfowl OR wild duck OR wild goose OR coot OR mallard) AND (meat safety OR game meat OR contamination OR heavy metals OR lead OR zoonotic infections OR avian influenza);*

– для уточнения тематических блоков применяли дополнительные запросы: *(waterfowl) AND (Salmonella OR Yersinia OR Escherichia coli OR parasites OR helminths OR Cryptosporidium),* а также *(waterfowl) AND (lead poisoning OR plumbism OR shot).*

Отбор публикаций осуществляли по следующим критериям. В обзор включали: оригинальные исследования и систематические обзоры, содержащие количественные данные о физико-химическом составе, пищевой ценности, содержании токсичных элементов или распространенности зоонозных патогенов и паразитарных инвазий у водоплавающей дичи; исследования, выполненные на видах водоплавающей дичи, встречающихся на территории России (утки, гуси, казарки, лысуха, камышница), или на близкородственных видах из семейств *Anatidae* и *Rallidae*; публикации, доступные для полнотекстового анализа на русском или английском языках. Исключали: тезисы конференций, не опубликованные в виде полнотекстовых статей; публикации, в которых не указаны методы анализа и/или единицы измерения; исследования, выполненные исключительно на сельскохозяйственной (домашней) птице без сопоставления с дикими видами; работы, не прошедшие независимое рецензирование (препринты, ведомственные отчёты).

Отбор публикаций проводили в два этапа: на первом этапе выполняли скрининг заголовков и аннотаций; на втором — анализ полного текста потенциально подходящих статей. Дубликаты удаляли. Из каждой включенной публикации извлекали следующие данные: географический регион отбора проб, вид птицы, количество образцов, тип ткани, методы лабораторного анализа, средние концентрации контаминантов или частоту обнаружения патогенов, а также информацию о

[6] URL: https://www.elsevier.com/products/scopus
[7] URL: https://elibrary.ru
[8] URL: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
[9] URL: https://scholar.google.com
[10] URL: https://www.sciencedirect.com

превышении допустимых уровней согласно национальным и международным нормативам.

Методологическое качество включенных исследований не оценивали формализованно по стандартизированным шкалам (например, STROBE или JBI), что обусловлено нарративным характером обзора, его направленностью на обобщение широкого спектра данных из различных научных традиций и географических регионов, а также значительной гетерогенностью дизайнов исследований. Однако предпочтение отдавали публикациям в рецензируемых научных журналах, а также источникам, содержащим четкое описание методов отбора проб и лабораторного анализа.

Ввиду значительной гетерогенности включенных исследований по дизайну, методам анализа, географическому охвату и объектам исследования (разные виды водоплавающих птиц, разные органы и ткани, различные аналитические методики), проведение мета-анализа не представлялось возможным. Обобщение результатов выполнено методом нарративного синтеза (тематического анализа) с представлением количественных данных в виде диапазонов, средних значений и медиан для каждого показателя. Данные систематизированы по тематическим блокам: физико-химический состав, инфекционные и паразитарные риски, содержание токсичных элементов и прочие риски (хлорированные углеводороды, радионуклиды).

В результате поиска и отбора публикаций сформирован библиографический массив из 73 источников. Из общего числа включенных публикаций 41 (56,2%) представлены на английском языке, 32 (43,8%) — на русском. Хронологический анализ показал, что 28 источников (38,4%) опубликованы в 2010–2019 гг. и 24 источника (32,9%) — в 2020–2026 гг., что подтверждает опору обзора на актуальные научные данные, полученные преимущественно в течение последних полутора десятилетий. Основной массив источников (48 публикаций; 65,8%) представлен статьями в рецензируемых научных журналах; значительную долю (10 источников; 13,7%) составляют нормативно-правовые акты (законы, приказы, ГОСТ, технические регламенты), что отражает комплексный подход к анализу правовых аспектов добычи и оборота мяса водоплавающей дичи. Преобладание англоязычных источников (56,2%) обусловлено международным характером научных публикаций по вопросам безопасности мяса дичи, зоонозных инфекций и химического загрязнения, тогда как высокая доля русскоязычных источников (43,8%) связана с необходимостью учета национальной нормативно-правовой базы и региональных исследований, выполненных на территории России.

Настоящее исследование не предполагало непосредственной работы с животными или сбора биологического материала; все данные получены из опубликованных источников. В связи с этим этическое одобрение не требовалось.

Настоящий обзор имеет ряд методологических ограничений. Поиск литературы проводился в ограниченном числе электронных баз данных (Scopus, eLibrary, PubMed, Google Scholar, Science Direct), что могло привести к исключению релевантных публикаций, индексируемых в других источниках. В обзор включались статьи независимо от языка публикации, однако полнотекстовый анализ и извлечение данных выполнялись только для материалов, доступных на русском и английском языках, что потенциально сужает географию и культурный контекст представленных данных. Обзор не охватывает отчеты охотничьих хозяйств и материалы ведомственных исследований, что могло бы дополнить представленную картину, особенно в части региональных особенностей России. Точное количество первоначально идентифицированных, отобранных и включенных публикаций не подсчитывали ввиду нарративного характера обзора.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Правовое регулирование добычи водоплавающей дичи в России и других странах

Федеральным законом от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и согласно приказу Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты» гуси, казарки, утки, лысуха, камышница относятся к охотничьим ресурсам на территории Российской Федерации[3, 11].

Приказ Минприроды России от 17.05.2010 № 164 «Об утверждении перечня видов охотничьих ресурсов, добыча которых осуществляется в соответствии с лимитами их добычи» регламентирует определенные сроки добычи водоплавающей дичи, регулируемые на уровне субъектов Российской Федерации[12].

Правила охоты на уток и гусей в 2026–2027 гг. в России сильно различаются по регионам. Весенний охотничий сезон повсеместно носит короткий (как правило, 10 календарных дней) и целенаправленно ограничительный характер: в большинстве субъектов разрешается добыча исключительно селезней уток, причем в некоторых регионах (Алтайский край, Амурская, Кировская области) — только с обязательным использованием живых подсадных уток[3]. Охота на гусей (белолобого гуся, гуменника) в весенний период допускается лишь из искусственного укрытия с применением чучел, профилей или манков. Охота на самок уток весной запрещена на всей территории страны.

[11] 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»

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

В ряде южных регионов России (Астраханская область, Краснодарский край, Республика Адыгея, Республика Крым, Ростовская область) весенняя охота на водоплавающую дичь запрещена. Фиксируется зональный принцип организации весенней охоты внутри регионов (южные и северные зоны с разными стартовыми датами), что наиболее отчетливо выражено в Волгоградской, Воронежской и Липецкой областях. Полностью закрыта охота в Белгородской и Курской области[13].

В США все мигрирующие птицы находятся под федеральной охраной, а охота разрешается только в рамках ежегодно утверждаемых U.S. Fish and Wildlife сезонов охоты, разрешенных видов и лимитов добычи[14]. Использование свинцовой дроби крайне ограничено[15]. В США в большинстве случаев водоплавающая птица не проходит обязательную государственную ВСЭ при личном потреблении[16]. Аналогичная ситуация в Канаде, однако лимиты задаются в рамках федеративных постановлений правительства[17].

Водоплавающая дичь (многие виды уток, гусей, казарок, лысуха) включена в перечень видов, на которые охота может быть разрешена в странах ЕС[18]. Весенняя охота во время миграции к местам гнездования запрещена. Действует ограничение на использование свинцовой дроби. Регулирование сильно различается между странами, которые устанавливают свои, национальные требования и ограничения (более строгие правила в Бельгии и Нидерландах, и менее строгие — во Франции и Италии)[19] [13].

В Казахстане охота на водоплавающую дичь регулируется государством через утверждение ежегодных лимитов и правил. Приказ министра экологии и природных ресурсов «Об утверждении лимита на изъятие видов животных, являющихся объектами охоты» является ежегодным документом, устанавливающий квоты на сезон. На 2026–2027 год для охотников в резервном фонде охотничьих хозяйств установлен достаточно большой лимит на добычу: 2 351 759 уток, 1 335 310 гусей, 313 929 лысух[20].

Китай делает акцент на охрану дикой природы, а не охотничьего использования ресурсов, поэтому охота на водоплавающую дичь для коммерческих или любительских целей практически полностью запрещена [21, 22].

Таким образом, общим для систем правового регулирования в России, США, Канаде и странах ЕС является установление лимитов добычи, сезонных и территориальных ограничений, а также, в ряде случаев, запрет на использование свинцовой дроби. Наиболее жесткий подход реализован в Китае, где охота на водоплавающую дичь для коммерческих и любительских целей практически полностью запрещена в пользу охраны природных популяций.

Ветеринарно-санитарная экспертиза водоплавающей дичи

Органолептические показатели тушек водоплавающей птицы должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51944-2002[23]. Доброкачественные тушки должны иметь хорошо развитые мышцы, чистое, крепко удерживаемое оперение, непровалившиеся глаза, специфический свежий запах. Допускаются наличие травматических повреждений и легкое загрязнение оперения.

Обязательность проведения ветеринарно-санитарной экспертизы в отношении непереработанной пищевой продукции животного происхождения регламентируется ст. 30 ТР ТС 021/2011[24], а порядок проведения ветеринарно-санитарной экспертизы — установлен Приказом Минсельхоза России от 28 апреля 2022 г. № 269 «Об утверждении Ветеринарных правил убоя животных и Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и продуктов убоя (промысла) животных, предназначенных для переработки и (или) реализации»[25]. Ветеринарно-санитарная экспертиза пернатой дичи связана с определенными трудностями. Так, у диких птиц отсутствует предубойный осмотр, что не позволяет вовремя диагностировать инфекционные болезни, о наличии которых можно судить лишь при патолого-анатомическом исследовании. Из-за несовершенных способов добычи тушки, как правило, бывают плохо обескровлены и зачастую значительно травмированы, что затрудняет проведение послеубойной экспертизы[26] [14].

---

[13] Сроки добычи всех видов животных России в 2026 году (по регионам) (URL: https://www.ohotniki.ru/hunting/article/2026/03/19/676819-sroki-dobyichi-vseh-vidov-zhivotnyih-rossii-v-2026-godu-po-regionam.html?ysclid=mpcsn195hu887472707)
[14] URL: https://www.fws.gov/
[15] URL: https://www.fws.gov/law/migratory-bird-treaty-act-1918
[16] URL: https://www.fsis.usda.gov/
[17] URL: https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/m-7.01/
[18] Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (Codified version
[19] URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/birds-directive/sustainable-hunting-under-birds-directive_en
[20] URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/G26NP000026
[21] (URL: https://nyncj.beijing.gov.cn/nyj/zwgk/zcgk/qtzcwj90/436435540/index.html)
[22] (URL: http://jxjaxzf.gov.cn/jaxrmzf/zcwj86/202006/74427cde722f40aaac32426757613938.shtml)
[23] ГОСТ Р 51944-2002 Мясо птицы. Методы определения органолептических показателей, температуры и массы.
[24] Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011)
[25] Приказ Минсельхоза России от 28 апреля 2022 г. № 269 «Об утверждении Ветеринарных правил убоя животных и Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и продуктов убоя (промысла) животных, предназначенных для переработки и (или) реализации»
[26] Позняковский В.М., Рязанова О.А., Мотовилов К.Я. Экспертиза мяса птицы, яиц и продуктов их переработки : качество и безопасность : учебное пособие. Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2009; 220 с.

Охлажденное мясо пернатой дичи должно храниться в холодильниках при температуре от 0 до 2 °С и относительной влажности воздуха 80–85% не более 5 суток со дня выработки. Мороженое мясо птицы хранят при температуре от минус 12 до минус 25 °С и ниже при относительной влажности воздуха 85–90%. В условиях естественного охлаждения (при температуре не выше 8 °С) охлажденные тушки хранят 1 сутки, мороженые — 2 суток[27] [15].

Существующая нормативно-правовая база (ГОСТ Р 51944-2002, ТР ТС 021/2011, Приказ № 269) устанавливает обязательные требования к ветеринарно-санитарной экспертизе мяса водоплавающей дичи, однако ее проведение осложняется отсутствием предубойного осмотра и высокой травматизацией тушек, что повышает значимость контроля. Соблюдение температурных режимов хранения мяса дичи является критическим фактором сохранения безопасности продукции, особенно при отсутствии возможности оперативной лабораторной ветеринарно-санитарной диагностики.

Физико-химический состав и особенности мяса водоплавающей дичи

Несмотря на то, что водоплавающая дичь играет важную роль в экономике охотничьего хозяйства, она до сих пор является малоизученным объектом.

Мясо водоплавающей дичи обладает высокой пищевой ценностью (таблица 1).

Мясо диких гусей обладает нежным вкусом и является источником полноценного белка, витаминов группы *B* и незаменимых минералов, таких как железо, цинк и селен, его пищевая ценность позволяет рассматривать этот продукт как часть сбалансированного рациона [15, 27]. Мясо диких гусей характеризуется значительно более высоким содержанием влаги (в 1,5 раза) и белка (в 1,8 раза) по сравнению с мясом домашних гусей при одновременном снижении доли жира — до 2,5 раза. Такое соотношение макронутриентов подтверждает потенциальную ценность мяса диких водоплавающих птиц как низкожирового высокобелкового продукта [27, 28].

Мясо диких уток, в отличие от домашней птицы, содержит больше белка и соединительной ткани, но меньше жира, что обусловлено их активным образом жизни и придает мясу плотную темную структуру. Подкожный жир распределен равномерно. Специфический вкус мяса, который в ряде случаев может приобретать рыбный привкус, отмечается как зависящий от кормовой базы уток.

Таблица 1. **Физико–химические показатели мяса водоплавающей дичи (средние показатели на 100 г сырого продукта) [28–31][13, 16–26]**

Table 1. **Physicochemical parameters of waterfowl meat (average parameters per 100 g of raw product) [28–31] [13, 16–26]**

Показатель	Дикий гусь	Дикая утка	Лысуха
Выход мяса, %	67,7	68,0–75,0	–
pH	5,77–6,40	5,85–6,44	–
Влага, %	51,01–71,19	64,50–72,40	–
Белок, %	18,40–26,11	16,90–25,50	17,13
Жир, %	2,83–15,29	3,60–16,20	3,60
Зола, %	1,04–4,20	1,20–1,45	1,22
Калорийность, ккал/100 г	123,8–130,1	121,0–170,7	132,0
Микро– и макроэлементы			
Ca, мг/100 г	12,00	15,80–21,00	18,00
K, мг/100 г	240,00	280,16–398,38	313,12–317,24
P, мг/100 г	185,00	158,00–257,10	290,0–360,0
Na, мг/100 г	–	60,00–66,00	80,00
Mg, мг/100 г	–	2,00–3,32	2,49–2,82
Fe, мг/100 г	2,40	0,92–5,58	2,39–2,48
Cu, мг/100 г	0,24	0,23–0,44	0,39–0,64
Mn, мг/100 г	0,018	0,925	–
Se, мг/100 г	–	11,80–12,80	–
Zn, мг/100 г	–	3,84–13,90	9,60–16,00

Низкое содержание жира характеризует мясо как диетический продукт [13].

Грудные мышцы самцов дикой утки отличаются высоким уровнем незаменимых аминокислот (лизин, лейцин) и благоприятным жирнокислотным профилем, характеризующимся преобладанием ненасыщенных жирных кислот и значительным содержанием полиненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6 [21].

Таким образом, подтверждена высокая пищевая ценность мяса водоплавающей дичи, характеризующаяся низким содержанием жира и высоким содержанием белка, что делает его перспективным продуктом для диетического питания.

Инфекционные и паразитарные риски

Водоплавающая птица не только болеет, но и в разной степени является переносчиком возбудителей вирусных, бактериальных и паразитарных болезней [9, 29]. Присутствие водоплавающих птиц в родниковых водоемах было связано со снижением качества этих вод. Появление новых популяций и пребывание в стаях может быстро увеличить частоту встречаемости зоонозных *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Cyclospora* или микроспоридий из-за эвтрофикации водно-болотных угодий [30].

[27] Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013)
[28] Шапкина Л.П. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса пернатой дичи: специальность 16.00.06 : диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук. Москва, 2003; 217 с. https://elibrary.ru/qdvkpj
[29] М.П. Бабина *и др*. Ветеринарно-санитарный контроль продуктов убоя диких промысловых животных и пернатой дичи: учеб.-метод. пособие для студентов по специальности 1-74 03 04 «Ветеринарная санитария и экспертиза» слушателей факультета повышения квалификации и переподготовки кадров. Витебск: Витебская ГАВМ, 2021;108 с.
[30] Брауде Н.Н. Химический состав и питательная ценность мяса некоторых видов боровой и водоплавающей дичи. Сб. науч.-техн. информ. ВНИИ охотн. хоз-ва и звероводства. Киров: ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства, 1972.
[31] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2018. USDA National Nutrient Database for Standard Reference (URL: https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/poultry/duck-and-goose-farm-table)

Среди инфекционных угроз, значимых для популяций водоплавающей дичи и безопасности охотничьего промысла, особое место занимает высокопатогенный грипп птиц (далее по тексту — ВПГП). Это высококонтагиозное вирусное заболевание, вызываемое РНК-содержащим вирусом семейства *Orthomyxoviridae*. Подтипы H5 и H7 обладают высокой вирулентностью, обусловливая 100%-ю гибель пораженной птицы. Кроме того, данные подтипы способны преодолевать видовой барьер, инфицируя млекопитающих (включая человека), что создает дополнительные эпизоотологические и эпидемиологические риски [31–34]. С 2003 г. ВОЗ зарегистрировано 993 подтвержденных случая инфицирования людей вирусом A(H5N1) в 25 странах, 477 (48%) из которых закончились летальным исходом. Продолжают регистрироваться спорадические случаи заражения людей вирусом A(H5N6) и A(H7N9)[32] [34]. Экономический ущерб от гриппа связан с массовой гибелью заболевшей птицы, затратами на проведение жестких карантинных и ветеринарно-санитарных мероприятий, включая уничтожение больной и скомпрометированной птицы, и оценивается в десятки и сотни миллиардов рублей [31].

Прямой или опосредованный контакт с инфицированной птицей — основной путь заражения человека вирусом гриппа птиц. Следовательно, охотники, осуществляющие разделку тушек, относятся к группе повышенного профессионального риска. Указанные вспышки сопровождались гибелью или вынужденным уничтожением сельскохозяйственной птицы, общее число которой превысило 98 млн. особей [34].

В 2025 году зарегистрированы случаи инфицирования людей ВПГП. В подавляющем большинстве случаев возбудителем выступал вирус гриппа А подтипа H9N2. Инфицирование, как правило, было связано с прямым контактом с больной или павшей птицей либо с употреблением ее мяса в пищу. Все 39 случаев инфицирования людей вирусом A(H9N2) зарегистрированы в Китае [35]. Кроме того, в Китае в 2025 г. отмечено три случая заболевания человека гриппом A(H10N3) (первые три случая также зарегистрированы в Китае в 2021, 2022 и 2024 гг.)[32] [36, 37].

Во второй половине 2025 г. в штате Вашингтон (США) были зарегистрированы десятки случаев ВПГП у диких, водоплавающих и домашних птиц, что является частью сезонного всплеска активности гриппа[33].

На кряквах паразитирует около 50 видов различных эктопаразитов различных классов, наибольшую опасность для человека имеют представители рода *Ixodes*, являясь переносчиками клещевого энцефалита и клещевого боррелиоза[34] [13].

Паразитофауна желудочно-кишечного тракта кряквы обыкновенной представлена трематодами семейства *Echinostomatidae*, цестодами подотряда *Hymenolepidata*, нематодами родов *Capillaria* и *Ascaridia* и простейшими рода *Eimeria* [38].

Мигрирующие утки в разных странах являются носителями и распространителями диареегенных паразитарных инфекций, включая *Blastocystis* sp., *Cryptosporidium* spp. и микроспоридии [39–43].

Инфекции *Cryptosporidium* обнаружены у 19 видов водоплавающих птиц в 10 странах [30].

При микробиологическом исследовании особей кряквы, обитающих на водоемах Минского и Смолевичского районов Беларуси, выделен широкий спектр бактериальных агентов. В число выделенных микроорганизмов вошли: *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Citrobacter diversus*, *Enterobacter aerogenes*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Pasteurella haemolytica*, *Streptococcus zooepidemicus*, *Klebsiella oxytoca* [44].

Расширение области зимовок водоплавающих птиц ведет к появлению угроз массового распространения паразитарных заболеваний. Одним из таких может явиться саркоцистоз — паразитарное заболевание птиц, рептилий и млекопитающих, вызываемое протистами рода *Sarcocystis* (саркоцистами) [29]. Человек при этом может выступать как в роли окончательного, так и промежуточного хозяина. Заражение происходит при употреблении в пищу мяса, содержащего цисты возбудителя. Учитывая высокую интенсивность инвазии, такое мясо признается непригодным для пищевых целей. На территории Кировской области у кряквы (*Anas platyrhynchos*) зарегистрирован вид *Sarcocystis rileyi* (Stiles, 1893): в Юрьянском районе (2011 г.) и Нагорском районе (2014 г.) [45]. В последние годы количество уток, зараженных саркоцистозом в некоторых регионах России резко возросло [13].

Проведена оценка качества и безопасности мяса диких водоплавающих птиц на фоне выявленных гельминтозов. Общая зараженность уток гельминтами составила 40% (экстенсивность инвазии — ЭИ составила 40%). Установлено паразитирование пяти видов гельминтов: *Hyptiasmus laevigatus* (ЭИ 33%), *Tracheophylus sisovi* (ЭИ 12%), *Hymenolepis setigera* (ЭИ 25%), *Syngamus trachea* (ЭИ 12%), *Echinuria uncinata* (ЭИ 25%). Во всех случаях отмечалась сочетанная инвазия [46].

В исследовании [47] был проведен молекулярный скрининг кишечных паразитов у трех видов диких уток рода *Anas* (*A. acuta*, *A. platyrhynchos* и *A. crecca*) из Португалии, с целью выявления *Blastocystis* sp., *Balantioides coli*, *Cryptosporidium* spp., *Encephalitozoon* spp. и *Enterocytozoon bieneusi*. Результаты показали наличие *Blastocystis* sp. подтипа 7 и *Cryptosporidium baileyi* в 2,82% случаев, что

[32] WHO. Avian Influenza Weekly Update Number 1029 (16 January 2026). (URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wpro---documents/emergency/surveillance/avian-influenza/ai_20260116.pdf)
[33] URL: https://doh.wa.gov/newsroom/grays-harbor-county-resident-dies-complications-avian-influenza
[34] Index-Catalogue of Medical and Veterinary Zoology (URL: https://tamu.libguides.com/ICMVZ/tamu)

стало первым молекулярным обнаружением этих патогенов у диких уток в Португалии. Признаков наличия *Balantioides coli*, *Encephalitozoon* spp. или *Enterocytozoon bieneusi* обнаружено не было.

За 2016–2018 гг. в Республике Беларусь были изучены сборы гельминтов от двух видов диких водоплавающих птиц. Из 42 особей добытой и обследованной дикой водоплавающей птицы (утка серая — 11 особей, кряква обыкновенная — 31), зараженными оказались 9 (21,4%) особей. В результате исследований в 2018 г. на тушках серых уток, кряквы обыкновенной и серого гуся обнаружены эндопаразиты — маллофаги *Menacanthusstramineus* семейства *Menoponidae* [48].

В Дагестане смешанная инвазия зарегистрирована у диких уток (ЭИ — 20%). Смешанные инвазии диких уток с комбинацией от 3 до 27 видов эндопаразитов регистрируются, и ЭИ достигает до 20-60%[35] [49, 50]. Наибольшими показателями зараженности гельминтами в Дагестане обладают популяции серого гуся (*Anser anser*), обыкновенной кряквы (*Anas platyrhynehos*), чирка-трескунка (*Anas quequedula* L.), пеганки (*Tadorna tadorna* L.) и большого крохаля (*Mergus merganser* L.), которые являются основными источниками моно- и смешанных инвазий гельминтов. В среднем, экстенсивность заражения всех 14 видов диких птиц гельминтами составила 24,07% [50].

Гельминты диких уток по водоемам Алтайского края в 2007 г. были представлены в основном трематодами (ЭИ — до 24%), цестодами (ЭИ — до 15%) и нематодами (ЭИ — до 13%) [51].

Отмечено, что у свободноживущих пернатых частота гельминтной инвазии с субклиническим течением достигает высоких показателей, причем до 60% всех гельминтозов составляют нематодозы [9].

Утки, добытые в Республики Саха (Якутия), соответствовали всем санитарно-нормативным требованиям. Не обнаружены бактерии рода *Salmonella*, *E. coli* и *L.* monocytogenes [52].

Водоплавающая дичь является резервуаром широкого спектра зоонозных инфекций и паразитозов, включая высокопатогенный грипп птиц, бактериальных возбудителей (*Salmonella, Yersinia, E. coli*) и гельминтов (экстенсивность инвазии до 40–60%), что обосновывает необходимость обязательной ветеринарно-санитарной экспертизы и полноценной термической обработки мяса перед употреблением.

Токсичные элементы (тяжелые металлы) в мясе водоплавающей дичи

Угроза здоровью человека при наличии высоких концентраций тяжелых металлов в окружающей среде обычно возникает при их попадании в организм человека через употребление мяса и субпродуктов водоплавающей дичи. Поступление свинца, цинка и других тяжелых металлов в ткани рыбы и водоплавающих птиц будет иметь место при употреблении ими загрязненных гидробионтов: зоопланктона и зообентоса. В свою очередь, накопление токсичных веществ в зоопланктоне и зообентосе будет происходить при употреблении ими в пищу продуктов деструкции водорослей и водной растительности [53].

Водоплавающие птицы вызывают особую обеспокоенность, учитывая их высокую мобильность и миграционные пути, которые могут простираться на сотни или тысячи километров от источников загрязнения [54, 55].

Свинцовое отравление (плюмбизм) представляет собой широко распространенное неинфекционное заболевание антропогенной этиологии, поражающее преимущественно водоплавающих птиц. Данная патология наблюдается повсеместно в регионах, где ведется охота с использованием свинцовой дроби. [56, 57].

Водоплавающая дичь в охотничьих угодьях подвержена плюмбизму в значительно большей степени, чем лесная и полевая дичь. Данное различие обусловлено особенностями водоплавающих птиц: они заглатывают свинцовую дробь либо в качестве гастролитов, либо ошибочно принимая ее за кормовые частицы [58, 59].

Отравление Pb у птиц оказывает пагубное влияние на их физиологическое состояние, приводя к нарушениям развития центральной нервной системы, снижению иммунитета, почечной недостаточности, слабости, изменениям поведения, диарее, анорексии и смерти [57–59]. Кроме того, снижение иммунитета вследствие отравления Pb повышает восприимчивость к паразитам [58, 60].

Мясо дичи, содержащее остатки свинцовой дроби, может представлять существенную опасность для здоровья человека при его употреблении в пищу [61, 62]. Например, даже одной свинцовой дробины № 6 (массой 0,11 г), оставшейся в тушке перепела после выстрела, достаточно для превышения действующих в Европейском союзе ПДК свинца. Вследствие этого мясо такой птицы становится непригодным для употребления в пищу по санитарным нормам [56].

У кряквы в Кировской области отмечены случаи острого плюмбизма: у 12,5% выборки содержание свинца в костях превышало 20 мг/кг сухого вещества, у 8,3% в печени — более 7 мг/кг сырого вещества. Доля крякв с повышенным уровнем свинца в костях составила 45,8% [56].

В польских популяциях крякв систематически фиксируется превышение допустимого уровня свинца в грудных мышцах. Так, по данным [58], содержание Pb было значительно выше у птиц из охотничьего округа Лешно (западная Польша) по сравнению с образцами из округа Седльце, причем допустимый уровень 0,10 мг/кг был превышен в 35,7% проб (преимущественно из Лешно).

[35] Кодзокова Э.Х. Эколого-эпизоотологическая оценка нотокотилидозов водоплавающих птиц в регионе Центрального Кавказа и разработка методов регуляции численности трематод: специальность 03.00.19 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Махачкала, 2004; 25 с. https://elibrary.ru/niaoyf

Содержание кадмия в мышцах и печени во всех случаях не превышало нормативов. Авторы [63] сообщали о концентрациях Pb в грудных мышцах крякв из Вармии-Мазур в диапазоне 0,038–0,283 мг/кг (в среднем 0,136 мг/кг), тогда как в Силезии этот показатель составлял 0,057–0,120 мг/кг (в среднем 0,088 мг/кг). Другие исследователи [64] зафиксировали уровни Pb от 0,16 до 0,33 мг/кг. В восточной Польше превышение ПДК отмечено в 35,71% образцов, что авторы [60] связывают с небольшими размерами тушек и, соответственно, малым расстоянием от места отбора проб до огнестрельных ранений. Показательно исследование [68], в котором медианные концентрации Pb у крякв и лысух, добытых в южной Польше, составили 0,1898 мкг/г и 0,2637 мкг/г соответственно (максимальные значения достигали 0,9166 мкг/г у крякв и 10,97 мкг/г у лысух). В 26% всех исследованных птиц концентрации свинца превышали допустимый уровень.

В исследовании EPA Victoria[36] в Австралии проведен анализ восьми микроэлементов (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Se, Zn) в грудных мышцах и печени 166 диких уток четырех видов, добытых на 19 водно-болотных угодьях. Установлено, что концентрации хрома и цинка не представляют риска для здоровья. Мышьяк, кадмий, медь, свинец, ртуть и селен обнаруживаются в мясе диких уток значительно чаще и в более высоких концентрациях, чем в мясе промышленной птицы, причем медь и селен создают умеренный, но наиболее выраженный риск: для детей одна порция грудного мяса (100 г) может обеспечивать более 20% от суточного допустимого уровня потребления. Ртуть, обнаруженная в 97,5% образцов мяса, требует ограничения потребления для беременных женщин и детей. Кадмий в печени в 10% проб превышал норматив для съедобных субпродуктов (0,5 мг/кг), а свинец превышал нормативы для мяса и печени лишь в 2% образцов, что авторы связывают с запретом свинцовой дроби в Виктории с 2002 г.

Анализ содержания тяжелых металлов в мясе диких крякв и четырех видов гусей показал, что концентрации мышьяка (As < 0,01 мг/кг) и кадмия (Cd < 0,005 мг/кг) находятся ниже пределов обнаружения и не представляют угрозы, а содержание ртути (Hg < 0,028 мг/кг) не превышает нормативы для рыбы и морепродуктов. Однако наиболее значимую угрозу представляет свинец (Pb): его уровень значительно варьирует в зависимости от вида — от относительно безопасных значений у гуменника (0,02 мг/кг) и фермерских крякв (0,03–0,035 мг/кг) до критически высоких у белощекого гуся (1,85 мг/кг, что в 18,5 раза выше допустимого уровня 0,1 мг/кг для мяса), а также превышение норматива отмечено у серого гуся (0,148 мг/кг) и диких самок кряквы (0,31 мг/кг). Таким образом, при употреблении мяса большинства изученных видов риск по ртути, мышьяку и кадмию минимален, но систематическое потребление мяса белощекого и серого гуся, а также диких самок кряквы может быть связано с хронической свинцовой интоксикацией, что требует мониторинга, замены свинцовой дроби при охоте и ограничения потребления мяса водоплавающей дичи [25].

Ртуть была обнаружена в 78,6% образцов водоплавающих птиц (81 из 103), однако концентрации были низкими: 87,4% проб содержали менее 50 нг/г. Медианные концентрации Hg по видам составили: черная утка — 47,8 нг/г, чирок — 25,4 нг/г, кряква — 14,2 нг/г, каролинская утка — 7,9 нг/г, канадская казарка — ниже предела обнаружения. Канадские казарки, как преимущественно растительноядные и реже связанные с водными экосистемами, практически не накапливают ртуть (обнаружена лишь в 6% проб). Hazard quotient для Hg во всех образцах не превысил 1, что указывает на отсутствие неприемлемого неканцерогенного риска при текущей частоте потребления [66].

Исследование содержания микроэлементов в печени 23 крякв, добытых зимой на рыбных прудах в Люблинском регионе (юго-восточная Польша), показало, что у 8,7% исследованных особей концентрация свинца (Pb) соответствовала уровню субклинической токсичности или умеренного клинического отравления для данного вида. По мнению авторов, это свидетельствует о необходимости запрета использования свинцовой охотничьей дроби на водно-болотных угодьях и водоемах в тех регионах Европы, где он все еще разрешен [67].

В исследовании оценивали концентрации кадмия (Cd) и свинца (Pb) в грудных мышцах 30 диких водоплавающих птиц (15 крякв и 15 лысух), добытых на рыбных прудах в районе Затора (южная Польша). Медианные концентрации Cd составили 0,0616 мкг/г сухой массы у крякв и 0,0868 мкг/г у лысух, при этом лишь у одной лысухи уровень Cd приблизился к предельно допустимому уровню. Свинец представляет существенную проблему: медианные концентрации Pb составили 0,1898 мкг/г у крякв и 0,2637 мкг/г у лысух, а максимальные значения достигали 0,9166 мкг/г у крякв и 10,97 мкг/г у лысух. 26% всех исследованных птиц имели концентрации свинца выше допустимого уровня, что делает их мясо непригодным для человека [68].

Исследование содержания микроэлементов (Hg, Cd, Cu, Zn, Pb, Al, Ni, As, Se) в печени, почках, мышцах и перьях водоплавающих и околоводных птиц (серые гуси, краснозобики, серые ржанки), обитающих или зимующих на водно-болотных угодьях юго-западного атлантического побережья

[36] Trace Elements in Wild Waterfowl & Human Health Risk Assessment (URL: https://www.epa.vic.gov.au/sites/default/files/epa/publications/2057-trace-elements-wild-waterfowl_.pdf)

Франции, показало, что уровни большинства элементов не превышали пороговых значений токсичности. Исключение составил Pb: серые гуси были признаны отравленными свинцом, что, вероятно, связано с заглатыванием свинцовой дроби на охотничьих угодьях, пересекаемых птицами во время миграции. Установлено, что накопление Cd увеличивается с возрастом, тогда как содержание Pb в перьях ниже у взрослых птиц вследствие линьки. Концентрации As зависели от пола: у самок уровни в печени и перьях были выше, чем у самцов [69].

Исследования в Иране показали, что концентрации тяжелых металлов были выше у диких гусей по сравнению с сельскими. Самая высокая концентрация была обнаружена в хвостовых перьях диких гусей (Hg = 3,99 ± 0,07 ppm, Zn = 7,20 ± 0,07 ppm, Pb = 4,24 ± 0,25 ppm). Была выявлена значительная разница в концентрациях тяжелых металлов в разных органах (печени, почках и мышцах) и хвостовых перьях [70].

Анализ уровней Pb в тканях и органах крякв в Австрии показал, что средние концентрации тяжелых металлов, как правило, низкие, но есть явные признаки загрязнения, поскольку у некоторых особей были обнаружены повышенные концентрации Cr, Cu, Cd, Hg и в особенности Pb [71].

Исследование содержания микроэлементов (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Se, Zn) в грудных мышцах и печени четырех наиболее часто добываемых видов уток на водно-болотных угодьях Виктории (Австралия) показало, что концентрации большинства элементов не превышают допустимые суточные нормы для здоровья человека. Единственным исключением стала розовоухая утка (*Malacorhynchus membranaceus*) — вид-фильтратор, у которого обнаружены аномально высокие уровни Hg. Установлено, что накопление мышьяка и цинка связано с близостью к населенным центрам [72].

Выявлена зависимость накопления некоторых металлов, включая такие опасные, как свинец и кадмий, от возраста [54, 71].

Свинец является наиболее значимым химическим контаминантом мяса водоплавающей дичи: превышение ПДК в грудных мышцах фиксируется в 25–36% образцов, а концентрации в ряде случаев достигают критических значений (до 10,97 мг/кг). Содержание кадмия, ртути и мышьяка в большинстве исследований не превышает установленных нормативных уровней, однако требует постоянного мониторинга со стороны ветеринарно-санитарной службы, а наиболее эффективной мерой снижения рисков является замена свинцовой дроби на альтернативные боеприпасы.

Прочие риски

В исследовании [66] проанализировали 28 хлорорганических пестицидов и их метаболитов в грудных мышцах пяти видов водоплавающих птиц. Все 98 образцов (100%) содержали как минимум один пестицид, причем метаболит 4,4′- ДДЕ был обнаружен в 100% проб, а исходный 4,4′-ДДТ — в 57,1% проб. Наиболее токсичный пестицид γ-гексахлорциклогексан (линдан) выявлен в 19,4% образцов (до 0,446 нг/г). Таким образом, хотя неканцерогенные эффекты маловероятны, канцерогенный потенциал хлорорганических пестицидов (особенно ДДТ и его метаболитов) требует ограничения частоты потребления и учета при обновлении санитарных норм.

Исследование в США [73] показало, что кряквы накапливают радиоактивный ^{137}Cs с постоянной скоростью в течение всего периода экспозиции (94 дня), тогда как *Aythya collaris* не демонстрировали значительного накопления. Активность ^{137}Cs в целом теле птицы является хорошим предиктором содержания этого радионуклида в мышечной ткани.

В результате проведенных исследований установлено, что по южной зоне Якутии из 68 исследованных тушек дикой утки в трех пробах наблюдалось повышенное содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr превышение соответственно на 25 Бк/кг и 24,1 Бк/кг. В процентном отношении составляет 4,4% к количеству исследованных тушек[28].

Таким образом, помимо токсичных элементов, мясо водоплавающей дичи может содержать хлорорганические пестициды (в 100% образцов) и радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr, что требует расширенного химико-токсикологического контроля со стороны ветеринарно-санитарной службы, особенно в зонах с высокой антропогенной нагрузкой и в регионах с потенциальным радиоактивным загрязнением.

Выводы/Conclusion

Мясо водоплавающей дичи (уток, гусей, лысух) является популярным объектом для охоты в России и характеризуется благоприятным макронутриентным составом: характеризуется высоким содержанием белка (16,9–26,1%) и низкой долей жира (2,8–16,2%) с благоприятным жирнокислотным профилем (преобладание ПНЖК Омега-3 и Омега-6), что согласуется с современными тенденциями в области здорового питания.

Обобщенные данные свидетельствуют о высокой степени инвазированности водоплавающей дичи (экстенсивность гельминтозов достигает 40%) при преобладании смешанных инвазий (трематоды, цестоды, нематоды), выявлены также простейшие (*Sarcocystis* rileyi, *Cryptosporidium* spp., *Blastocystis* sp.). Водоплавающие птицы служат природным резервуаром высокопатогенного гриппа птиц (подтипы H5, H7, H9N2, H10N3), а также бактериальных зоонозных патогенов (*Salmonella spp*., *Yersinia enterocolitica, E. coli*) — это создает реальную угрозу здоровью человека при употреблении мяса, прошедшего недостаточную термическую обработку, и требует обязательной ветеринарно-санитарной экспертизы.

Наиболее значимым антропогенным фактором, снижающим безопасность мяса водоплавающей дичи, является применение свинцовой дроби: ее заглатывание птицами в качестве гастролитов приводит к хронической интоксикации и накоплению Pb в тканях. Многочисленные исследования фиксируют превышение ПДК свинца в грудных мышцах уток и гусей в 2 и более раза (до 10,97 мг/кг), что делает такое мясо непригодным для систематического потребления, особенно детьми и беременными женщинами. Содержание других токсичных элементов (Cd, Hg, As) в большинстве случаев не превышает нормативы, однако ртуть и кадмий требуют постоянного мониторинга.

На основании обобщенных данных рекомендуется:

✓обязательное проведение ветеринарно-санитарной экспертизы всей добытой водоплавающей дичи;

✓запрет свинцовой дроби на водно-болотных угодьях с переходом на альтернативные боеприпасы (сталь, висмут, вольфрам);

✓информирование охотников и потребителей о рисках, связанных с употреблением мяса дичи без предварительного ветеринарно-санитарного лабораторного контроля;

✓ограничение частоты потребления мяса водоплавающей дичи уязвимыми группами населения.

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. Елаев Е.Н. Охотничье-промысловые ресурсы Сибири: состав пернатой дичи, особенности территориального размещения и использования. *Байкальский зоологический журнал*. 2025; (3): 17–31. EDN MOJEEC
2. 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. https://doi.org/10.17076/eb1967
3. Черезова Н.В., Гузева И.В. Особенности использования территории охотничьих угодий. *Московский экономический журнал*. 2019; (1): 23–30. https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-11007
4. Царегородцева Е.В., Кабанова Т.В. Экспертиза мяса домашних и диких животных. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2018; 4(3): 77–84. https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-3-77-84
5. Самсонова Н.Е., Колюбацкий В.В. Мясо диких животных: польза и вред. *Аграрная наука и инновационное развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы. Сборник материалов II Международной научной конференции*. Смоленск: Смоленская государственная сельскохозяйственная академия. 2025; 3: 96–100. EDN QSJBFC
6. Канагина И.Р. Классификация ресурсов охотничьего хозяйства на базе Альменевского комплексного охотничьего хозяйства. *Чтения памяти А.А. Силантьева, посвящённые 150-летию со дня рождения: Охотничье дело в России. История и современность. Материалы всероссийской конференции.* СПб.: СПбГЛТУ. 2018; 43–48. EDN YXFIBQ
7. Солоха А.В., Блохин Ю.Ю. Охотничья добыча уток в России с 2013 по 2020 годы. *Вестник охотоведения*. 2025; 22(2): 98–111. EDN IHTXZV
8. Солоха А.В., Блохин Ю.Ю. Изучение весенней охоты на уток посредством анкетирования. *Вестник охотоведения*. 2024; 21(2): 109–119. EDN XOIRLH
9. Апанович А.В., Лях Ю.Г., Якимович К.А., Дайнеко К.А. Диагностика паразитоценозов охотничьих видов водоплавающей птицы в Беларуси. *Сахаровские чтения — 2025: экологические проблемы XXI века. Материалы 25-й Международной научной конференции.* Минск: БГУ. 2025; 2: 5–9.
10. Окрут С.В., Степаненко Е.Е. Эколого-биологические особенности лысухи (*Fulica atra*). *Вестник АПК Ставрополья*. 2014; (4): 226–228. EDN THKTGD
11. Трухина Т.И., Самсоненко И.А. Распространение трихинеллеза на Дальнем Востоке. Проблемы ветеринарной медицины и зооэкологии Российского и Азиатско-Тихоокеанского регионов. *Материалы первой международной научно-практической конференции.* Благовещенск. 2012; 131–134.
12. Петрова Е.М., Алексеева Н.И. Содержание цезия-137 и стронция-90 в мясе боровой дичи в разных экологических зонах Республики Саха (Якутия). *Вестник Университета биотехнологий*. 2019; (4): 79–84. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-53-4-79-84
13. Зарубин Б.Е. *и др.* Оценка объемов и качества мясной продукции кряквы в Кировской области. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2020; (3): 91–110. https://doi.org/10.22450/1999-6837-2020-3-91-110
14. Лукин А.С. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса диких промысловых животных. Исследование их на трихинеллёз. *Молодежь и наука*. 2021; (8). EDN ZTIICE
15. Баранова В.Р., Зуева Г.В. Характеристика разных видов мяса птицы. *Молодежь и наука*. 2016; (12): 2. EDN YUIDOP
16. Зубко Н.В. Фізико-хімічні показники м'яса дикої водоплавної дичини Слобожанського регіону в залежності від терміну зберігання. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Ветеринарна медицина»*. 2010; (3): 62–65.
17. Катаева Д.Г. Минеральный состав мяса лысухи в Дагестане. *Вестник ветеринарии*. 2012; (4): 172–173. EDN PJONET
18. Катаева Д.Г. Органолептические и физико-химические показатели мяса диких уток. *Ветеринария*. 2009; (12): 55–57. EDN KXHUWH
19. Малофеева Н.А., Карпухина В.С. Ветеринарно-санитарная оценка и показатели безопасности мяса водоплавающей птицы. *Инновационная наука*. 2018; (4): 163–165. EDN YWNHYN
20. Piekarczyk P., Domaradzki P., Florek M., Kowalczyk M., Topyła B., Tajchman K. Carcass characteristics and physicochemical and sensory properties of meat from three species of wild geese hunted in Poland. *Poultry Science.* 2026; 105(7): 106877. https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.106877

REFERENCES

1. Yelayev E.N. Hunting resources of Siberia: composition of wildfowl, features of territorial distribution and use. *Baikal Zoological Journal.* 2025; (3): 17–31 (in Russian). EDN MOJEEC
2. Kalinina S.N., Ilyukha V.A., Panchenko D.V., Zaitseva I.A. Estimating wild game consumption within the study of hunting in the Republic of Karelia. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2024; (7): 139–145 (in Russian). https://doi.org/10.17076/eb1967
3. Cherezova N.V., Guzeva I.V. Features of using the territory of hunting areas. *Moscow Economic Journal*. 2019; (1): 23–30 (in Russian). https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-11007
4. Tsaregorodtseva E.V., Kabanova T.V. Examination of meat of domestic and wild animals. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2018; 4(3): 77–84 (in Russian). https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-3-77-84
5. Samsonova N.Ye., Kolyubatskiy V.V. Wild animal meat: benefits and harms. *Agricultural science and innovative development of the agro-industrial complex: status, problems, and prospects. Collection of materials from the II International scientific conference*. Smolensk: Smolensk State Agricultural Academy. 2025; 3: 96–100 (in Russian). EDN QSJBFC
6. Kanagina I.R. Classification of hunting resources based on the Almenevsky integrated hunting farm. *The Anatoly Silantiev Memorial Readings, dedicated to the 150th anniversary of the birth: Game management in Russia. History and modernity. Proceedings of All-Russian Conference.* St. Petersburg: Saint Petersburg State Forest Technical University. 2018; 43–48 (in Russian). EDN YXFIBQ
7. Solokha A.V., Blokhin Yu.Yu. Harvesting of ducks in Russia during 2013-2020. *Herald of game management*. 2025; 22(2): 98–111 (in Russian). EDN IHTXZV
8. Solokha A.V., Blokhin Yu.Yu. Questionnaire analysis of spring duck hunting in Russia. *Herald of game management.* 2024; 21(2): 109–119 (in Russian). EDN XOIRLH
9. Apanovich A.V., Liakh Yu.G, Yakimovich K.A., Dayneko K.A. Diagnostics of parasitocenosis of hunting species of waterfowl in Belarus. *Sakharov readings — 2025: environmental problems of the XXI century. Proceedings of the 25th International scientific conference.* Minsk: Belarusian State University. 2025; 2: 5–9 (in Russian).
10. Okrut S.V., Stepanenko E.E. Ecological and biological features coots (*Fulica atra*). *Agrarian Bulletin of Stavropol Region*. 2014; (4): 226–228 (in Russian). EDN THKTGD
11. Trukhina T.I., Samsonenko I.A. Spread of trichinellosis in the Far East. *Problems of veterinary medicine and zooecology of the Russian and Asian-Pacific regions. Proceedings of the first International scientific and practical conference.* Blagoveshchensk. 2012; 131–134 (in Russian).
12. Petrova E.M., Alekseeva N.I. Caesium-137 and strontium-90 concentration in pine forest meat in different ecological zones of the Republic of Sakha (Yakutia). *Vestnik University of biotechnologiy*. 2019; (4): 79–84 (in Russian). https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-53-4-79-84
13. Zarubin B.E. *et al.* Assessment of volume and quality of mallard meat products in the Kirov region. *Far Eastern Agrarian Herald*. 2020; (3): 91–110 (in Russian). https://doi.org/10.22450/1999-6837-2020-3-91-110
14. Lukin A.S. Veterinary and sanitary examination of meat of wild commercial animals. Their research on trichinosis. *Youth and Science*. 2021; (8) (in Russian). EDN ZTIICE
15. Baranova V.R., Zueva G.V. Characteristics of different types of poultry. *Youth and Science*. 2016; (12): 2 (in Russian). EDN YUIDOP
16. Zubko N.V. Physicochemical parameters of wild waterfowl meat of the Slobozhansk region depending on the storage period. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Veterinary Medicine"*. 2010; (3): 62–65 (in Ukrainian).
17. Kataeva D.G. Mineral constituents of the meat of *Fulica atra* from Dagestan. *Vestnik veterinarii*. 2012; (4): 172–173 (in Russian). EDN PJONET
18. Kataeva D.G. Biochemical parameters of wild duck meat. *Veterinary*. 2009; (12): 55–57 (in Russian). EDN KXHUWH
19. Malofeyeva N.A., Karpushina V.S. Veterinary and sanitary assessment and safety indicators of waterfowl meat. *Innovation science*. 2018; (4): 163–165 (in Russian). EDN YWNHYN
20. Piekarczyk P., Domaradzki P., Florek M., Kowalczyk M., Topyła B., Tajchman K. Carcass characteristics and physicochemical and sensory properties of meat from three species of wild geese hunted in Poland. *Poultry Science.* 2026; 105(7): 106877. https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.106877

21. Cobos Á., Veiga A., Díaz O. Chemical and fatty acid composition of meat and liver of wild ducks (*Anas platyrhynchos*). *Food Chemistry*. 2000; 68(1): 77–79. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00164-8
22. Kelava Ugarković N., Bedeković D., Greiner K., Fabijanić N., Prpić Z., Konjačić M. Carcass Characteristics and Meat Quality of Wild-Living Mallard (*Anas platyrhynchos* L.) Originating from Croatia. *Foods*. 2024; 13(10): 1519. https://doi.org/10.3390/foods13101519
23. Hamadani H., Khan A.A., Salahudin M., Sofi A.H., Banday M.T. Slaughter and carcass characteristics, sensory attributes and consumer acceptability of geese meat. *Indian Journal of Poultry Science*. 2013; 48(2): 223–227.
24. Катаева Д.Г. Биохимические показатели мяса лысухи (*Fulica atra* L.) в Дагестане. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2007; (8): 130–132. EDN JUGYHD
25. Söderquist P., Olsson C., Birch K., Olsson V. Evaluation of Nutritional Quality and Sensory Parameters of Meat from Mallard and Four Species of Wild Goose. *Foods*. 2022; 11(16): 2486. https://doi.org/10.3390/foods11162486
26. Hascik P., Pavelková A., Fik M., Bučko O. Meat performance and meat quality of wild ducks (*Anas platyrhynchos*) reared in domestic conditions. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(4): e11148. https://doi.org/10.55251/jmbfs.11148
27. Гоноцкий В.А., Федина Л.П. Гуси-лебеди и утки. *Мясная индустрия.* 2018; (8): 42–47. EDN YAEBLN
28. Зарубин Б.Е. *и др.* Объем и качество мясной продукции гусиной охоты в Кировской области. *Вестник охотоведения*. 2023; 20(3): 120–128. EDN ZEFLSA
29. Лях Ю.Г., Латушко С.С., Корнакова А.А., Бормотов А.С. Диагностика инвазий у охотничьих водоплавающих птиц, обитающих на водоемах Беларуси. *Зоологические чтения — 2021. Материалы VI международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию доктора биологических наук, профессора А.В. Федюшина*. Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы. 2021; 138–140. EDN IAFFFX
30. Solarczyk P., Wojtkowiak-Giera A., Heddergott M. Migrating Anatidae as Sources of Environmental Contamination with Zoonotic *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Cyclospora* and *Microsporidia*. *Pathogens*. 2023; 12(3): 487. https://doi.org/10.3390/pathogens12030487
31. Лопсан Ч.О. Динамика и особенности проявления высокопатогенного гриппа птиц на территории Республики Тыва. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020; 50(4): 72–79. https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-4-9
32. Зеленкова Г.А., Карантыш Г.В., Тамбиев Т.С., Малышева Л.А., Капелист И.В., Ермаков А.М. Птичий грипп: экология, морфология, молекулярные маркеры патогенности вируса, современная эпизоотическая ситуация. *Ветеринарная патология*. 2018; (1): 5–17. EDN YUUIMA
33. Жуматов К.Х., Саятов М.Х., Кыдырманов А.И. Вирусы гриппа A/H7: распространение, генетическая изменчивость, патогенность для птиц и человека. Биотехнология. *Теория и практика*. 2013; (2): 12–16. EDN VOMQWT
34. Еникеева А.И. *и др.* Обзор эпизоотической и эпидемической ситуации по высокопатогенному гриппу птиц в России и мире в 2025 г. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2026; (1): 17–25. https://doi.org/10.21055/0370-1069-2026-1-17-25
35. European Food Safety Authority *et al.* Avian influenza overview March–June 2025. *EFSA Journal*. 2025; 23(7): e9520. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9520
36. Zhao Z. *et al.* A case report of human infection with avian influenza H10N3 with a complex respiratory disease history. *BMC Infectious Diseases*. 2024; 24: 918. https://doi.org/10.1186/s12879-024-09830-y
37. Zhang W., Zhang Z., Wang M., Pan X., Jiang X. Second Identified Human Infection With the Avian Influenza Virus H10N3: A Case Report. *Annals of Internal Medicine*. 2023; 176(3): 429–431. https://doi.org/10.7326/L22-0376
38. Василевич Ф.И., Николаева Е.А., Цепилова И.И., Пикель К.В. Эндопаразитофауна крякв (*Anas platyrhynchos*) Тверской области. *Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. Сборник научных статей по материалам международной научной конференции*. М. 2025; 26: 79–83. https://doi.org/10.31016/978-5-6053355-1-1.2025.26.79-83
39. Shemshadi B., Ranjbar-Bahadori S., Faghihzadeh-Gorgi S. Occurrence of parasitic protozoa in wild waterfowl in southern coastal Caspian Sea lagoons. *Iranian Journal of Veterinary Medicine.* 2015; 8(4): 261–267. https://doi.org/10.22059/ijvm.2015.52485
40. Hasapis K.A. *et al.* First detection of *Cryptosporidium proventriculi* from wild birds in Cyprus. *Parasitology Research.* 2023; 122(1): 201–205. https://doi.org/10.1007/s00436-022-07717-y
41. Reboredo-Fernández A., Ares-Mazás E., Cacciò S.M., Gómez-Couso H. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in wild birds in Galicia (Northwest Spain). *Parasitology*. 2015; 142(7): 917–925. https://doi.org/10.1017/S0031182015000049
42. Slodkowicz-Kowalska A. *et al.* Microsporidian Species Known To Infect Humans Are Present in Aquatic Birds: Implications for Transmission via Water?. *Applied and Environmental Microbiology*. 2006; 72(7): 4540–4544. https://doi.org/10.1128/AEM.02503-05
43. Maloney J.G., Molokin A., da Cunha M.J.R., Cury M.C., Santin M. *Blastocystis* subtype distribution in domestic and captive wild bird species from Brazil using next generation amplicon sequencing. *Parasite Epidemiology and Control*. 2020; 9: e00138. https://doi.org/10.1016/j.parepi.2020.e00138
44. Лях Ю.Г., Гринек А.Н., Фомченко И.В., Билецкий О.Р. Мониторинг условно патогенной микрофлоры у водоплавающей и полевой охотничьей дичи в Беларуси. *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2017. Сборник статей по материалам научно-практической конференции с международным участием*. Севастополь: Севастопольский государственный университет. 2017; 812–814. EDN YNKOAP
45. Масленникова О.В. Саркоцистоз кабанов и диких уток на севере Нечерноземья. *Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. Сборник научных статей по материалам международной научной конференции. Посвящается 90-летию со дня рождения А. С. Бессонова*. М. 2019; 20: 347–352. https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.347-352
46. Давыдова О.Е., Малофеева Н.А. Оценка качества и безопасности продуктов убоя диких водоплавающих птиц при гельминтозах. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2020; (11): 54–59. EDN QRCPRS
47. Gomes-Gonçalves S. *et al.* Molecular Screening and Characterization of Enteric Protozoan Parasites and Microsporidia in Wild Ducks from Portugal. *Animals*. 2024; 14(20): 2956. https://doi.org/10.3390/ani14202956

21. Cobos Á., Veiga A., Díaz O. Chemical and fatty acid composition of meat and liver of wild ducks (*Anas platyrhynchos*). *Food Chemistry*. 2000; 68(1): 77–79. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00164-8
22. Kelava Ugarković N., Bedeković D., Greiner K., Fabijanić N., Prpić Z., Konjačić M. Carcass Characteristics and Meat Quality of Wild-Living Mallard (*Anas platyrhynchos* L.) Originating from Croatia. *Foods*. 2024; 13(10): 1519. https://doi.org/10.3390/foods13101519
23. Hamadani H., Khan A.A., Salahudin M., Sofi A.H., Banday M.T. Slaughter and carcass characteristics, sensory attributes and consumer acceptability of geese meat. *Indian Journal of Poultry Science*. 2013; 48(2): 223–227.
24. Katayeva D.G. Biochemical indexes of coot (*Fulica atra* L) meat in Daghestan. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2007; (8): 130–132 (in Russian). EDN JUGYHD
25. Söderquist P., Olsson C., Birch K., Olsson V. Evaluation of Nutritional Quality and Sensory Parameters of Meat from Mallard and Four Species of Wild Goose. *Foods*. 2022; 11(16): 2486. https://doi.org/10.3390/foods11162486
26. Hascik P., Pavelková A., Fik M., Bučko O. Meat performance and meat quality of wild ducks (*Anas platyrhynchos*) reared in domestic conditions. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(4): e11148. https://doi.org/10.55251/jmbfs.11148
27. Gonotsky V.A., Fedina L.P. Geese-swans and ducks. *Meat industry.* 2018; (8): 42–47 (in Russian). EDN YAEBLN
28. Zarubin B.E. *et al.* Amount and quality of geese hunting meat products in the Kirov region. *Herald of game management.* 2023; 20(3): 120–128 (in Russian). EDN ZEFLSA
29. Lyakh Yu.G., Latushko S.S., Kornakova A.A., Bormotov A.S. Diagnostics of invasions in hunting water birds inhabiting in water bodies of Belarus. *Zoological Readings — 2021. Proceedings of the VI International scientific and practical conference dedicated to the 130th anniversary of Doctor of Biological Sciences, Professor Anatoly V. Fedyushin*. Grodno: Yanka Kupala State University of Grodno. 2021; 138–140 (in Russian). EDN IAFFFX
30. Solarczyk P., Wojtkowiak-Giera A., Heddergott M. Migrating Anatidae as Sources of Environmental Contamination with Zoonotic *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Cyclospora* and *Microsporidia*. *Pathogens*. 2023; 12(3): 487. https://doi.org/10.3390/pathogens12030487
31. Lopsan H.O. Dynamics and features of manifestation of highly pathogenic avian influenza in the Republic of Tuva. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2020; 50(4): 72–79 (in Russian). https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-4-9
32. Zelenkova G.A., Karantysh G.V., Tambiev T.S., Malysheva L.A., Kapelist I.V., Ermakov A.M. Bird flu: ecology, morphology, molecular markers of virus pathogenicity, modern episoctical situation. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2018; (1): 5–17 (in Russian). EDN YUUIMA
33. Zhumatov K.Kh., Sayatov M.Kh., Kydyrmanov A.I. Influenza A/H7 viruses: distribution, genetic variability, pathogenicity for birds and humans. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*. 2013; (2): 12–16 (in Russian). EDN VOMQWT
34. Enikeeva A.I. *et al.* Review of the Epizootic and Epidemic Situation regarding Highly Pathogenic Avian Influenza in Russia and Globally in 2025. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2026; (1): 17–25 (in Russian). https://doi.org/10.21055/0370-1069-2026-1-17-25
35. European Food Safety Authority *et al.* Avian influenza overview March–June 2025. *EFSA Journal*. 2025; 23(7): e9520. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9520
36. Zhao Z. *et al.* A case report of human infection with avian influenza H10N3 with a complex respiratory disease history. *BMC Infectious Diseases*. 2024; 24: 918. https://doi.org/10.1186/s12879-024-09830-y
37. Zhang W., Zhang Z., Wang M., Pan X., Jiang X. Second Identified Human Infection With the Avian Influenza Virus H10N3: A Case Report. *Annals of Internal Medicine*. 2023; 176(3): 429–431. https://doi.org/10.7326/L22-0376
38. Vasilevich F.I., Nikolaeva E.A., Tsepilova I.I., Pikel K.V. Endoparasitic fauna of mallards (*Anas platyrhynchos*) in the Tver region. *Theory and practice of parasitic disease control. Collection of scientific articles adapted from the International scientific conference*. Moscow. 2025; 26: 79–83 (in Russian). https://doi.org/10.31016/978-5-6053355-1-1.2025.26.79-83
39. Shemshadi B., Ranjbar-Bahadori S., Faghihzadeh-Gorgi S. Occurrence of parasitic protozoa in wild waterfowl in southern coastal Caspian Sea lagoons. *Iranian Journal of Veterinary Medicine.* 2015; 8(4): 261–267. https://doi.org/10.22059/ijvm.2015.52485
40. Hasapis K.A. *et al.* First detection of *Cryptosporidium proventriculi* from wild birds in Cyprus. *Parasitology Research.* 2023; 122(1): 201–205. https://doi.org/10.1007/s00436-022-07717-y
41. Reboredo-Fernández A., Ares-Mazás E., Cacciò S.M., Gómez-Couso H. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in wild birds in Galicia (Northwest Spain). *Parasitology*. 2015; 142(7): 917–925. https://doi.org/10.1017/S0031182015000049
42. Slodkowicz-Kowalska A. *et al.* Microsporidian Species Known To Infect Humans Are Present in Aquatic Birds: Implications for Transmission via Water?. *Applied and Environmental Microbiology*. 2006; 72(7): 4540–4544. https://doi.org/10.1128/AEM.02503-05
43. Maloney J.G., Molokin A., da Cunha M.J.R., Cury M.C., Santin M. *Blastocystis* subtype distribution in domestic and captive wild bird species from Brazil using next generation amplicon sequencing. *Parasite Epidemiology and Control*. 2020; 9: e00138. https://doi.org/10.1016/j.parepi.2020.e00138
44. Lyakh Yu.G., Grinek A.N., Fomchenko I.V., Bilezki O.R. Monitoring of conditionally pathogenic microflora in waterfowl and field game birds in Belarus. *Ecological, industrial, and energy security — 2017. Collection of articles based on the materials of the scientific and practical conference with international participation*. Sevastopol: Sevastopol State University. 2017; 812–814 (in Russian). EDN YNKOAP
45. Maslennikova O.V. Sarkocystosis of boars and wild ducks in the north of the Non-Black Earth area. *Theory and practice of parasitic disease control. Collection of scientific articles adapted from the International scientific conference. On the 90th Anniversary of the Birth of Andrey S. Bessonov*. Moscow. 2019; 20: 347–352 (in Russian). https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.347-352
46. Davydova O.E., Malofeeva N.A. Assessment of the quality and safety of wild waterfowl slaughter products in helminthiasis. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2020; (11): 54–59 (in Russian). EDN QRCPRS
47. Gomes-Gonçalves S. *et al.* Molecular Screening and Characterization of Enteric Protozoan Parasites and Microsporidia in Wild Ducks from Portugal. *Animals*. 2024; 14(20): 2956. https://doi.org/10.3390/ani14202956

48. Нападовская К.Д., Лях Ю.Г. Паразитозы диких водоплавающих птиц Минской области. *Экологическая безопасность в техносферном пространстве. Сборник материалов Второй Всероссийской с международным участием научно-практической конференции молодых ученых и студентов*. Екатеринбург: РГППУ. 2019; 199–201. EDN KSMWQB

49. Пашаев В.Ш., Баттаев Э.А., Шогенов Б.Ю., Биттиров И.А., Биттиров А.М. Фаунистический обзор гельминтов диких водных видов птиц *Tadorna tadorna* L. и *Mergus merganser* L. в экосистеме Аграханской бухты Дагестана. *Инновационные технологии в зоотехнии и ветеринарии. Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции*. Пенза: ПГАУ. 2020; 71–75. EDN REUFLV

50. Алиев Ш.К., Алиев Р.Г. Фаунистический обзор гельминтов диких птиц Дагестана. *Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. Материалы докладов научной конференции*. М. 2011; 12: 13–16.

51. Понамарев Н.М., Новиков Н.А., Понамарева Н.Н., Тюменцева О.В. Оценка радиационной и паразитарной ситуации в популяциях дикой водоплавающей птицы на территории Алтайского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2007; (10): 61–64. EDN IUETIF

52. Корякина А.Е., Ефимов Э.Р., Петрова Е.М. Исследование мяса водоплавающей дичи. *Устойчивое развитие сельского хозяйства и агросистем будущего в Арктике. Сборник научных статей по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием*. Новокузнецк: Знание-М. 2023; 516–521. EDN HVYJPM

53. Мискевич И.В., Котова Е.И. Оценка отдаленных социально-геоэкологических последствий добычи свинцово-цинковой руды на острове Вайгач. *Арктика и Север*. 2025; 58: 38–46. https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2025.58.38

54. Leaphart J.C., Oldenkamp R.E., Bryan A.L. Jr., Kennamer R.A., Beasley J.C. Patterns of Trace Element Accumulation in Waterfowl Restricted to Impoundments Holding Coal Combustion Waste. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2020; 39(5): 1052–1059. https://doi.org/10.1002/etc.4697

55. Conder J.M., Arblaster J.A. Development and use of wild game consumption rates in human health risk assessments. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2016; 22(1): 251–264. https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1060407

56. Сергеев А.А., Ширяев В.В., Дворников М.Г., Тетера В.А. Свинцовое отравление диких животных и перспективы применения нетоксичных охотничьих боеприпасов в России. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2020; (1): 71–83. https://doi.org/10.22450/1999-6837-2020-1-71-83

57. Sato H. *et al.* Behavior and toxic effects of Pb in a waterfowl model with oral exposure to Pb shots: Investigating Pb exposure in wild birds. *Environmental Pollution*. 2022; 308: 119580. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119580

58. Bombik E., Bombik A., Pietrzkiewicz K. Content of Lead and Cadmium in the Tissues and Organs of the Wild Mallard Duck (*Anas platyrhynchos* L.) Depending on the Region of Poland Where It Is Harvested. *Animals*. 2023; 13(21): 3327. https://doi.org/10.3390/ani13213327

59. Rocke T.E., Samuel M.D. Effects of lead shot ingestion on selected cells of the mallard immune system. *Journal of Wildlife Diseases*. 1991; 27(1): 1–9. https://doi.org/10.7589/0090-3558-27.1.1

60. Kalisińska E., Salicki W., Mysłek P., Kavetska K.M., Jackowski A. Using the Mallard to biomonitor heavy metal contamination of wetlands in north-western Poland. *Science of the Total Environment*. 2004; 320(2–3): 145–161. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.08.014

61. Johansen P., Asmund G., Riget F. High human exposure to lead through consumption of birds hunted with lead shot. *Environmental Pollution*. 2004; 127(1): 125–129. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00255-0

62. Pain D.J. *et al.* Potential Hazard to Human Health from Exposure to Fragments of Lead Bullets and Shot in the Tissues of Game Animals. *PLOS One*. 2010; 5(4): e10315. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010315

63. Szymczyk K., Zalewski K. Copper, Zinc, Lead and Cadmium Content in Liver and Muscles of Mallards (*Anas platyrhychnos*) and Other Hunting Fowl Species in Warmia and Mazury in 1999-2000. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2003; 12(3): 381–386.

64. Zalewski K., Socha A., Gizejewski Z., Nitkiewicz B., Bierła J. Stężenie metali ciężkich w wątrobie i mięśniu piersiowym krzyżówki (*Anas platyrhynchos*) upolowanej na Warmii i Mazurach w roku 2004. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2006; 515: 447–453.

65. Sinkakarimi M.H., Pourkhabbaz A.R., Hassanpour M., Levengood J.M., Ghasempouri S.M. Potential human health risk assessment of heavy metals in the flesh of mallard and pochard in the South Eastern Caspian Sea region of Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 2015; 3(2): 139–145.

66. Dayan D.B. *et al.* Environmental contaminants assessment for frequently harvested migratory waterfowl in the Northeast Atlantic flyway. *Science of the Total Environment*. 2025; 963: 178474. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178474

67. Sujak A., Wiącek D., Jakubas D., Komosa A., Kitowski I. Mallards *Anas platyrhynchos* shot in Eastern Poland: ecological risk evaluated by analysis of trace elements in liver. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2019; 25(8): 2116–2132. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1489716

68. Binkowski L.J. Is the meat of wild waterfowl fit for human consumption? Preliminary results of cadmium and lead concentration in pectoral muscles of mallards and coots shot in 2006 in southern Poland. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2012; 1(S): 1120–1128. https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/7431

69. Lucia M., André J.M., Gontier K., Diot N., Veiga J., Davail S. Trace Element Concentrations (Mercury, Cadmium, Copper, Zinc, Lead, Aluminium, Nickel, Arsenic, and Selenium) in Some Aquatic Birds of the Southwest Atlantic Coast of France. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010; 58(3): 844–853. https://doi.org/10.1007/s00244-009-9393-9

70. Namroodi S., Farmani M., Rezaei H. A survey on heavy metal bioaccumulation in tissues of wild and rural geese in Golestan Province, Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2017; 27(147): 409–414 (in Farsi).

71. Plessl C., Jandrisits P., Krachler R., Keppler B.K., Jirsa F. Heavy metals in the mallard *Anas platyrhynchos* from eastern Austria. *Science of the Total Environment*. 2017; 580: 670–676. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.013

72. Saaristo M., Johnstone C.P., Mikkonen A., Lewis P., Sardiña P., Taylor M.P. Trace elements in liver and muscle tissues from wild waterfowls in Australia: Risk associated with human consumption in a global context. *Environmental Pollution*. 2024; 362: 124949. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124949

48. Napadovskaya K.D., Lyakh Yu.G. Parasitoses of wild waterfowl of the Minsk region. *Ecological safety in the technosphere space. Collection of materials of the Second All-Russian scientific and practical conference of young scientists and students with international participation*. Yekaterinburg: Russian State Professional Pedagogical University. 2019; 199–201 (in Russian). EDN KSMWQB

49. Pashaev V.Sh., Battaev E.A., Shogenov B.Yu., Bittirov I.A., Bittirov A.M. Faunistic review of helminths wild water bird species *Tadorna tadorna* L. and *Mergus merganser* L. in the ecosystem of the Agrahan the bay Dagestan. *Innovative technologies in animal husbandry and veterinary medicine. Collection of articles of the II all-Russian scientific and practical conference*. Penza: Penza State Agrarian University. 2020; 71–75 (in Russian). EDN REUFLV

50. Aliev Sh.K., Aliev R.G. Faunistic review of helminths of wild birds in Dagestan. *Theory and practice of parasitic disease control. Materials of reports of scientific conference*. Moscow. 2011; 12: 13–16 (in Russian).

51. Ponomaryov N.M., Novikov N.A., Ponomaryova N.N., Tyumentseva O.V. Evaluation of radiation and parasitic condition in populations of wild waterfowl in the territory of the Altai region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2007; (10): 61–64 (in Russian). EDN IUETIF

52. Koryakina A.Ye., Yefimov Ye.R., Petrova Ye.M. Study of waterfowl meat. *Sustainable development of agriculture and agrosystems of the future in the Arctic. Collection of scientific articles based on the proceedings of the All-Russian student scientific and practical conference with international participation*. Novokuznetsk: Znanie-M. 2023; 516–521 (in Russian). EDN HVYJPM

53. Miskevich I.V., Kotova E.I. Assessment of Long-Term Socio-Geo-Ecological Consequences of Lead-Zinc Ore Mining on Vaygach Island. *Arctic and North*. 2025; 58: 38–46 (in Russian). https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2025.58.38

54. Leaphart J.C., Oldenkamp R.E., Bryan A.L. Jr., Kennamer R.A., Beasley J.C. Patterns of Trace Element Accumulation in Waterfowl Restricted to Impoundments Holding Coal Combustion Waste. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2020; 39(5): 1052–1059. https://doi.org/10.1002/etc.4697

55. Conder J.M., Arblaster J.A. Development and use of wild game consumption rates in human health risk assessments. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2016; 22(1): 251–264. https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1060407

56. Sergeev A.A., Shiryaev V.V., Dvornikov M.G., Tetera V.A. Lead poisoning of wild animals and prospects for the use of non-toxic hunting ammunition in Russia. *Far Eastern Agrarian Herald*. 2020; (1): 71–83 (in Russian). https://doi.org/10.22450/1999-6837-2020-1-71-83

57. Sato H. *et al.* Behavior and toxic effects of Pb in a waterfowl model with oral exposure to Pb shots: Investigating Pb exposure in wild birds. *Environmental Pollution*. 2022; 308: 119580. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119580

58. Bombik E., Bombik A., Pietrzkiewicz K. Content of Lead and Cadmium in the Tissues and Organs of the Wild Mallard Duck (*Anas platyrhynchos* L.) Depending on the Region of Poland Where It Is Harvested. *Animals*. 2023; 13(21): 3327. https://doi.org/10.3390/ani13213327

59. Rocke T.E., Samuel M.D. Effects of lead shot ingestion on selected cells of the mallard immune system. *Journal of Wildlife Diseases*. 1991; 27(1): 1–9. https://doi.org/10.7589/0090-3558-27.1.1

60. Kalisińska E., Salicki W., Mysłek P., Kavetska K.M., Jackowski A. Using the Mallard to biomonitor heavy metal contamination of wetlands in north-western Poland. *Science of the Total Environment*. 2004; 320(2–3): 145–161. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.08.014

61. Johansen P., Asmund G., Riget F. High human exposure to lead through consumption of birds hunted with lead shot. *Environmental Pollution*. 2004; 127(1): 125–129. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00255-0

62. Pain D.J. *et al.* Potential Hazard to Human Health from Exposure to Fragments of Lead Bullets and Shot in the Tissues of Game Animals. *PLOS One*. 2010; 5(4): e10315. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010315

63. Szymczyk K., Zalewski K. Copper, Zinc, Lead and Cadmium Content in Liver and Muscles of Mallards (*Anas platyrhychnos*) and Other Hunting Fowl Species in Warmia and Mazury in 1999-2000. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2003; 12(3): 381–386.

64. Zalewski K., Socha A., Gizejewski Z., Nitkiewicz B., Bierła J. Heavy metal contents in liver and breast muscles of the mallards (*Anas platyrhynchos*) hunted in Warmia and Mazury in 2004. *Advances of Agricultural Sciences Problem Issues*. 2006; 515: 447–453 (in Polish).

65. Sinkakarimi M.H., Pourkhabbaz A.R., Hassanpour M., Levengood J.M., Ghasempouri S.M. Potential human health risk assessment of heavy metals in the flesh of mallard and pochard in the South Eastern Caspian Sea region of Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 2015; 3(2): 139–145.

66. Dayan D.B. *et al.* Environmental contaminants assessment for frequently harvested migratory waterfowl in the Northeast Atlantic flyway. *Science of the Total Environment*. 2025; 963: 178474. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178474

67. Sujak A., Wiącek D., Jakubas D., Komosa A., Kitowski I. Mallards *Anas platyrhynchos* shot in Eastern Poland: ecological risk evaluated by analysis of trace elements in liver. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2019; 25(8): 2116–2132. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1489716

68. Binkowski L.J. Is the meat of wild waterfowl fit for human consumption? Preliminary results of cadmium and lead concentration in pectoral muscles of mallards and coots shot in 2006 in southern Poland. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2012; 1(S): 1120–1128. https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/7431

69. Lucia M., André J.M., Gontier K., Diot N., Veiga J., Davail S. Trace Element Concentrations (Mercury, Cadmium, Copper, Zinc, Lead, Aluminium, Nickel, Arsenic, and Selenium) in Some Aquatic Birds of the Southwest Atlantic Coast of France. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010; 58(3): 844–853. https://doi.org/10.1007/s00244-009-9393-9

70. Namroodi S., Farmani M., Rezaei H. A survey on heavy metal bioaccumulation in tissues of wild and rural geese in Golestan Province, Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences.* 2017; 27(147): 409–414 (in Farsi).

71. Plessl C., Jandrisits P., Krachler R., Keppler B.K., Jirsa F. Heavy metals in the mallard *Anas platyrhynchos* from eastern Austria. *Science of the Total Environment*. 2017; 580: 670–676. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.013

72. Saaristo M., Johnstone C.P., Mikkonen A., Lewis P., Sardiña P., Taylor M.P. Trace elements in liver and muscle tissues from wild waterfowls in Australia: Risk associated with human consumption in a global context. *Environmental Pollution*. 2024; 362: 124949. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124949

73. Leaphart J.C., Abercrombie S.A., Borchert E.J., Bryan A.L. Jr., Beasley J.C. Bioaccumulation of Mercury and Radiocesium in Waterfowl Introduced to a Site with Legacy Contamination. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2022; 41(10): 2479–2487. https://doi.org/10.1002/etc.5444

ОБ АВТОРАХ

Ярослав Максимович Ребезов[1]
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 Ребезов[2]
доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник
m.rebezov@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0003-0857-5143

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

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

73. Leaphart J.C., Abercrombie S.A., Borchert E.J., Bryan A.L. Jr., Beasley J.C. Bioaccumulation of Mercury and Radiocesium in Waterfowl Introduced to a Site with Legacy Contamination. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2022; 41(10): 2479–2487. https://doi.org/10.1002/etc.5444

ABOUT THE AUTHORS

Yaroslav Maksimovich Rebezov[1]
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 Rebezov[2]
Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher
m.rebezov@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0003-0857-5143

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

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

УДК 619:616.98:578.831.11

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-56-64

И.Э. Гафарова[1, 2] ✉

Т.Н. Рождественская [1, 3]

А.В. Рузина[1]

[1] Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН, Москва, Россия

[2]ООО Научно-производственная фирма «Литех», Москва, Россия

[3] ООО «НПП “АВИВАК”», Санкт-Петербург, Россия

✉ *gafarovaie@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 07.06.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

© Гафарова И.Э., Рождественская Т.Н, Рузина А.В.

Выявление и дифференциация РНК вируса болезни Ньюкасла лентогенного и велогенного патотипов

РЕЗЮМЕ

В статье представлены данные по разработке диагностикума для выявления и дифференциации РНК ВБН лентогенного и велогенного патотипов в биологическом материале от кур методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией. В работе были использованы образцы тканей (мозг, конъюнктива, трахея, легкие) и смывов (из трахеи и клоаки), полученных от погибших кур с нейрологическими и респираторными признаками заболевания на территории Российской Федерации за период 2021–2022 гг. Поскольку исследование выполнено только на патологическом материале, полученном от павших животных, возможность применения разработанного метода для ранней диагностики инфекции не оценивалась. Данный аспект требует дальнейшего изучения с использованием образцов, полученных от животных на различных этапах развития инфекционного процесса. Для оценки качества диагностикума использовали такие параметры как специфичность, чувствительность и прецизионность. В результате проведенного исследования было установлено, что чувствительность разработанной тест-системы составляет 1000 и более копий/мл РНК ВБН, специфичность 95%ДИ 94,8–100%, коэффициент вариации при оценке внутрипостановочной и межпостановочной прецизионности при исследовании препаратов РНК ВБН не превышает 10% и, тем самым, соответствует критериям пригодности используемого метода.

Ключевые слова: вирус болезни Ньюкасла (ВБН), полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР), лентогенный вариант вируса, велогенный вариант вируса, патотип, НК

Для цитирования: Гафарова И.Э., Рождественская Т.Н, Рузина А.В. Выявление и дифференциация РНК вируса болезни Ньюкасла лентогенного и велогенного патотипов. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 56–64.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-56-64

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-56-64

Irina E. Gafarova[1, 2] ✉

Tatiana N. Rozhdestvenskaya[1, 3]

Anna V. Ruzina[1]

[1] Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia,

[2] LYTECH, Moscow, Russia

[3] SPE “AVIVAC”, St. Petersburg, Russia

✉ *gafarovaie@yandex.ru*

Received by the editorial office: 07.06.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

© Gafarova I.E., Rozhdestvenskaya T.N., Ruzina A.V.

Development of RT-PCR Reagent Kit for detection and differentiation of Newcastle Disease virus of lentogenic and velogenic pathotypes viral RNA

ABSTRACT

The article presents data on the development of a diagnostic tool for the detection and differentiation of NDV RNA of lentogenic and velogenic pathotypes in biological material from chickens by reverse transcription polymerase chain reaction. The work used tissue samples (brain, conjunctiva, trachea, lungs) and flushes (from the trachea and cloaca) obtained from dead chickens with neurological and respiratory signs of the disease in the Russian Federation for the period 2021–2022. Since the study was performed only on pathological material obtained from dead animals, the possibility of using the developed method for early diagnosis of infection was not evaluated. This aspect requires further study using samples obtained from animals at various stages of the development of the infectious process. Parameters such as specificity, sensitivity, and precision were used to evaluate the quality of the diagnostic. As a result of the study, it was found that the sensitivity of the test system we developed is 1000 or more copies/ml of NDV RNA, the specificity is 95%CI 94.8–100%, the coefficient of variation in assessing intra-stop and inter-stop precision in the study of NDV RNA preparations does not exceed 10% and, thus, meets the criteria of suitability of the used the method.

Key words: Newcastle disease virus (NDV), reverse transcriptase polymerase chain reaction (RT-PCR), lentogenic variant of the virus, velogenic variant of the virus, pathotype, nucleic acid

For citation: Gafarova I.E., Rozhdestvenskaya T.N., Ruzina A.V. Development of RT-PCR Reagent Kit for detection and differentiation of Newcastle Disease virus of lentogenic and velogenic pathotypes viral RNA. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 56–64 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-56-64

Введение/Introduction

Значительный экономический ущерб современному животноводству наносят различные инфекционные заболевания, одним из которых является вирус болезни Ньюкасла (ВБН). ВБН является этиологическим агентом опасного заболевания птиц, протекающего с высоким уровнем смертности. ВБН (*Newcastle disease virus*, NDV) или ортоавулавирус относится к роду ортоавулавирус (*Avian Orthoavulavirus 1, AOAV-1*), семейству Парамиксовирусы (*Paramixoviridae*), подсемейству *Avulavirinae* [1]. Естественными хозяевами ВБН являются куры, индейки, утки, гуси, голуби, перепела, фазаны, цесарки, страусы и несколько видов диких птиц [2].

Впервые ВБН был описан в Индонезии в 1926 году и в Ньюкасл-апон-Тайн в Англии в 1927 году [3]. В последнее время были зарегистрированы вспышки ВБН по всему миру: в Японии, Бразилии, Китае [4], в странах Южной Америке и в Малайзии [5].

ВБН является оболочечным вирусом, содержащем одноцепочечную РНК негативной полярности, геном не сегментирован и имеет длину около 15200 оснований [6]. В структуре вирусного генома можно выделить шесть генов: нуклеопротеин (NP), фосфопротеин (P), матриксный (M), расщепления (F), гемагглютинин-нейраминидаза (NH) и РНК-зависимая РНК-полимераза (L), кодирующих шесть структурных и два неструктурных белков вируса [7]. Филогенетически ВБН делится на два отдельных генетических класса: класс I и класс II. Класс I включает один генотип и представлен в основном апатогенными вирусами [8]. Второй класс делится на 21 генотип и включает разнообразные по вирулентности штаммы [9, 10]. Патогенность вируса зависит от последовательности аминокислот в сайте расщепления белка F. На основании последовательности аминокислот белка F выделяют три основных патотипа вируса: велогенный, мезогенный и лентогенный [11]. Велогенные штаммы вируса являются высокопатогенными и далее делятся на висцеротропный велогенный ВБН, который вызывает кишечную инфекцию с высокой смертностью, и нейтропный велогенный ВБН, который вызывает неврологические и респираторные симптомы с высокой смертностью. Мезогенные варианты вируса менее патогенны, с острыми неврологическими и респираторными признаками. Лентогенные штаммы ВБН вызывают легкую инфекцию дыхательных путей и обычно используются в качестве живых вакцин [9].

За последние десятилетия во всем мире возникали вспышки ВБН, вызванные штаммами вируса, относящимся к генотипам V, VI и VII генетического класса II [12, 13]. Так, например, последние вспышки инфекции, произошедшие на территориях Европы, Африки, Ближнего Востока, Южной Америке и Азии, были вызваны ВБН генотипа VII генетического класс II [14]. На сегодняшний день генотип VII был дополнительно разделен на девять субгенотипов (VII a-k) [15, 16].

Мониторинговые исследования диких птиц на наличие у них ВБН регулярно проводятся на всей территории Российской Федерации. Рядом исследователей [2] опубликована информация о проникновении на территорию Российской Федерации велогенных вариантов ВБН генотипа VII генетического класса II. Распространение вируса генотипа VII генетического класса II на территории России может привести к значительному усложнению эпизоотической ситуации, возникновению локальных вспышек заболевания с дальнейшим развитием в панзоотию. В настоящее время наиболее распространенная в Российской Федерации вакцина против ВБН (вакцины против ньюкаслской болезни птиц производства НПП «АВИВАК») производится на основе штамма Ла-Сота, принадлежащего к генотипу II генетического класса II, в ряде исследований была показана низкая эффективность данной вакцины против генотипа VII генетического класса II [2].

В связи с вышесказанным, необходимо осуществлять постоянный мониторинг распространения различных генетических вариантов ВБН на территории Российской Федерации, чтобы определить их эпизоотическую роль и уровень опасности для птицеводства. Наиболее перспективными для диагностики являются молекулярно-биологические методы, позволяющие достоверно выявлять животных, инфицированных ВБН на ранних стадиях заболевания, и обладающие более высокой чувствительностью, по сравнению с другими методами. Для осуществления мониторинга необходимо использовать качественные диагностикумы, позволяющие дифференцировать ВБН на лентогенный и велогенный варианты вируса, которые циркулируют на территории Российской Федерации.

Цель данного исследования — разработать набор реагентов для выявления и дифференциации РНК вируса болезни Ньюкасла лентогенного и велогенного патотипов методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией в «режиме реального времени» и оценить его основные аналитические характеристики.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование выполнено в 2025 году. Данная работа имела научно-прикладной характер и была направлена на разработку и оценку аналитических характеристик тест-системы для выявления и дифференциации РНК ВБН. Работа включала следующие этапы: отбор и подготовка клинических образцов от павших кур; выделение РНК; секвенирование изолятов вирусов для их филогенетической характеризации; конструирование рекомбинантных плазмид и получение контрольных РНК-транскриптов; подбор и оптимизация олигонуклеотидных праймеров/зондов; оценка аналитической и диагностической чувствительности, специфичности и прецизионности

разработанного набора реагентов; сравнительный анализ с коммерческим аналогом. Исследование проводили на базе лаборатории НПФ «Литех» (Москва, Россия).

В работе были использованы образцы тканей (мозг, конъюнктива, трахея, легкие) и смывов (из трахеи и клоаки), полученных от погибших кур, содержащихся в хозяйствах без свободного выгула, с нейрологическими и респираторными признаками заболевания. Образцы были получены на территории Московской, Владимирской и Ивановской областей в период 2021–2022 гг. Все манипуляции с тканями животных проводили в соответствии с законодательством Российской Федерации[1] и с учетом международно признанных этических принципов защиты животных, изложенных в Директиве 2010/63/EU[2]. Поскольку исследование выполняли на патологическом материале от павших животных, процедуры не требовали одобрения биоэтической комиссии для экспериментальных вмешательств. Тканевые образцы массой 50–100 мг растирали в ступке в жидком азоте до гомогенного состояния, затем ресуспендировали в 1 мл стерильного фосфатно-солевого буфера (PBS, pH 7,4; «Диаэм», Россия). Образцы тканей и смывов центрифугировали при 3000 g в течение 10 мин. Супернатант использовали для последующей экстракции нуклеиновых кислот.

Для экстракции вирусной РНК использовали по 100 мкл надосадочной жидкости с применением набора «ДНК/РНК-сорбент-ВЕТ» (НПФ «Литех», Россия) в соответствии с протоколом производителя. Методом ОТ-ПЦР во всех пробах был обнаружен ВБН.

В качестве отрицательного контроля использовали 50 образцов РНК, выделенных из биологического материала, полученного от клинически здоровых птиц, отрицательных по результатам ОТ-ПЦР на наличие РНК ВБН, а также образцов ДНК, содержащих ДНК различных микроорганизмов (*Avibacterium paragallinarum, Escherichia coli, Mycoplasma synoviae, Mycoplasma gallisepticum, Salmonella enteritidis, Salmonella typhimurium, Salmonella infantis, Staphylococcus aureus*) и РНК вирусов, относящихся к различным семействам (*Coronaviridae, Herpesviridae, Birnaviridae, Metapneumovirus, Orthomyxoviridae, Reoviridae*), были получены отрицательные результаты. Также не было обнаружено перекрестных реакций с другими вирусами, относящимися к семейству *Paramixoviridae (Canine distemper virus, Rinderpest morbillivirusвирус, Human parainfluenza virus 1, Human parainfluenza virus 2, Human parainfluenza virus 3, Human parainfluenza virus 4).* Все образцы хранили при –80 °С, повторных замораживаний не проводили.

Полногеномное секвенирование проводили по методу Сэнгера с использованием набора BigDye Termination Cycle Sequencing Kit v.3.1 (Applied Biosystems, США) на автоматическом секвенаторе ABI Prism 3100 (Applied Biosystems, США). Первичные нуклеотидные последовательности депонированы в GenBank[3] (номера доступа: PQ106772, PQ106773, PP766718, PQ106776, PP795281, PQ106775, PQ106774). Филогенетический анализ полноразмерных последовательностей гена F (включая сайт протеолиза) выполняли методом Maximum Likelihood с использованием программы MEGA6 (Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0, США) из программного пакета DNASTAR Lasergene (DNASTAR Inc., Madison, США). В анализ включены референтные последовательности всех генотипов классов I и II, загруженные из GenBank.

Для конструирования рекомбинантных плазмид методом ПЦР амплифицировали три фрагмента-мишени: консервативный участок гена M (длина ампликона 352 п.н.), участок гена F, специфичный для велогенного варианта (214 п.н.), и участок гена F, специфичный для лентогенного варианта вируса (143 п.н.). В качестве внутреннего контроля использовали фрагмент гена бактериофага MS2 длиной 118 п.н. Продукты амплификации клонировали в вектор pTZ57R/T (Thermo Fisher Scientific. США) с использованием ДНК-лигазы фага T4 (15 мкл реакционной смеси, 16 ч, +4 °С). Трансформацию проводили в компетентных клетках E. coli TOP-10 (Thermo Fisher Scientific, США). Скрининг рекомбинантных клонов выполняли по методу бело-голубых колоний на среде с ампициллином (100 мкг/мл), ИПТГ (100 мкМ) и X-Gal (40 мкг/мл). Плазмидную ДНК выделяли с помощью набора GeneJET Plasmid Miniprep Kit (Thermo Fisher Scientific, США); наличие вставки подтверждали ПЦР со специфическими праймерами и секвенированием по Сэнгеру. РНК-транскрипты получали in vitro с помощью системы Riboprobe (Promega, США) с использованием T7 РНК-полимеразы.

Для оценки аналитических характеристик набора реагентов использовали внутрилабораторные контрольные образцы. В качестве внутрилабораторных контрольных образцов применяли рекомбинантные генетические конструкции, содержащие фрагменты кДНК ВБН и кДНК бактериофага MS2, используемого в качестве внутреннего экзогенного контроля. Концентрацию рекомбинантных генетических конструкций определяли на спектрофотометре NanoDrop 2000 (Thermo Fisher

[1] Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
[2] Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes.
[3] National Center for Biotechnology Information (NCBI), GenBank Nucleotide Sequence Database, https://www.ncbi/nlm/nih.gov/genbank/ NCBI, США).

Scientific, США) при длине волны 260 нм. Пересчет нг в абсолютное число копий выполняли по формуле:

$N = (m \times 6{,}022 \times 10^{23})/(L \times 660 \times 10^{9})$,

где: N — число копий; m — концентрация ДНК, нг; L — длина всей плазмиды, п.н.; 660 — средняя молекулярная масса одной пары оснований ДНК, г/моль; $6{,}022 \times 10^{23}$ — число Авогадро.

Концентрацию РНК-транскриптов определяли аналогичным образом. Из полученных препаратов РНК готовили серийные разведения в воде, свободной от нуклеаз (Nuclease-Free Water; Thermo Fisher Scientific, США), до концентраций 10^5 копий/мл и 10^3 копий/мл, которые далее применялись при валидации разрабатываемого набора реагентов.

Дизайн олигонуклеотидных праймеров и флуоресцентных зондов проводили по следующим критериям: минимальное значение Ct, отсутствие неспецифических продуктов (оценка методом плавления), отсутствие праймер-димеров, стабильность результатов в независимых постановках. Для дизайна олигонуклеотидных праймеров и олигонуклеотидных флуоресцентных зондов провели множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей (n = 250) по алгоритму Clustal W с использованием программы MEGA6 (Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0) из программного пакета DNASTAR Lasergene (DNASTAR Inc., Madison, США). Участки для праймеров выбирали в консервативных доменах генов M и F (нуклеотидные позиции: M — 3608–3755, F — 4689–4903, нумерация по референсному штамму LaSota, GenBank Ac№AF077761). Для каждой мишени синтезировали по три пары олигонуклеотидов с последующим тестированием их на эффективность амплификации. Структуры праймеров и зондов представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Структура олигонуклеотидных праймеров и олигонуклеотидных флуоресцентных зондов**
Table 1. **Structure of oligonucleotide primers and oligonucleotide fluorescent probes**

Название	Структура, 5'- 3'последовательность	Генетическая мишень	Длина продуктов (н.п.)
AV3965F	AAGTCCGATAGCGGATACTATG	Фрагмент гена *M* кДНК ВБН	147
AV-4317R	TGGTCAGCAGTCACTGCGACAG		
AV4203pr	FAM-CAAATGCCTCTCCTCAGGTTGCCAAGATACTCT-BHQ1		
AV4784F	CCGTTGGAGGCGTACAACAGGACAT	Фрагмент гена *F* кДНК ВБН	143
AV_4927R	AAGAGCCACACCGCCAATAATGGCG		
AV4871pr	SIMA-TCCGGAGGAGGGAAACAGGGACGTCTT-BHQ2		
AV4875F	GAGGAAGGAGACAAAAACGCTTT	Фрагмент гена *F* кДНК ВБН	214
AV5089R	CTTCCCAACTGCCACTGATAG		
AV5006pr	ROX-CTTAAGGAAAGCATCGCTGCGACCAATGAA-BHQ2		
ph1293F	GAGTTTGAGGCGTGGCTT	Фрагмент гена искусственной кДНК (внутренний контроль)	118
ph1411R	AGCGAAGTTGCTTGGGG		
ph 1312	CY5-ATAGAGCCCTCAACCGGAGT-BHQ2		

Зонды типа TaqMan содержали на 5'-конце флуорофоры: FAM (канал детекции M-мишени), SIMA (лентогенный вариант), ROX (велогенный вариант), Cy5 (MS2), на 3'-конце — гаситель BHQ1/BHQ2.

Условия проведения ОТ-ПЦР в режиме «реального времени»:

• Амплификацию проводили на приборе CFX96 Thermal Cycler (Bio-Rad, США). Оптимизацию температуры отжига выполняли в диапазоне 56–68 °C; наилучшие результаты получены при 62 °C. Финальный объем реакционной смеси — 35 мкл, содержащей: 1× ПЦР-буфер (20 мМ $(NH_4)_2SO_4$, 75 мМ Tris-HCl pH 8,8, 0,01% Tween-20); 3,0 мМ $MgCl_2$; по 0,2 мМ каждого дНТФ; по 6 пмоль каждого праймера; 4 пмоль каждого зонда; 2,5 ед. ак. Taq-ДНК-полимеразы и 1 ед. ак. M-MLV обратной транскриптазы (оба фермента — НПФ «Литех»). Объем пробы РНК составлял 7 мкл.

• Протокол проведения амплификации с обратной транскрипцией: обратная транскрипция: 42 °C — 15 мин; денатурация: 95 °C — 5 мин; 45 циклов: 95 °C — 5 с, 62 °C — 15 с, 72 °C — 20 с; считывание флуоресценции осуществлялось по четырем каналам (FAM/HEX/ROX/CY5) — на стадии отжига. Пороговый цикл (Ct) устанавливали автоматически программным обеспечением CFX96 Thermal Cycler (Bio-Rad, США). Результат считали положительным при Ct < 39 для всех генетических мишеней.

• Валидацию набора реагентов проводили в соответствии с РМГ 61-2010[4] , ГОСТ Р 58975-2020[5] и ГОСТ Р ИСО 5725[6]. Валидационные эксперименты включали оценку следующих показателей: аналитическая чувствительность, диагностическая чувствительность, диагностическая специфичность, прецизионность и правильность. Аналитическую чувствительность (LOD, LOQ) определяли путем анализа десяти повторностей РНК-транскриптов с концентрацией 1000 копий/мл. Критерий приемлемости Ct < 39 для всех повторностей. Диагностическую чувствительность и специфичность рассчитывали по формулам с 95% доверительным интервалом по методу Уилсона (РМГ 61-2010, п. 5.3). Для чувствительности использовали 7 положительных образцов, подтвержденных секвенированием; для специфичности — 50 отрицательных образцов. Прецизионность (повторяемость и внутрилабораторная прецизионность) оценивали путем анализа 10 повторностей контрольных образцов (10^5 копий/мл) в одной постановке (внутрипостановочная)

[4] РМГ 61-2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки». Москва: Стандартинформ, 2012.
[5] ГОСТ Р 58975-2020 «Рекомендации по выбору методик исследований (испытаний) и измерений при проведении оценки соответствия». Москва: Стандартинформ, 2020.
[6] ГОСТ Р ИСО 5725«Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений».Москва: Стандартинформ, 2002.

и в двух постановках, выполненных в разные дни разными операторами (межпостановочная). Критерий приемлемости — коэффициент вариации (CV) не более 10%. Правильность: оценивали по степени извлечения при добавлении известных концентраций РНК-транскриптов в матрицу отрицательных образцов (диапазон концентраций 10^3–10^5 копий/мл). Допустимый интервал извлечения — 80–120%.

• Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2021 и Bio-Rad CFX Maestro v.3.1 (США). Для оценки различий между группами применяли двусторонний t-критерий Стьюдента при уровне статистической значимости $p < 0,05$. Чувствительность и специфичность рассматривали как биномиальные доли; 95% доверительные интервалы для этих показателей рассчитывали методом Уилсона (Wilson score interval), рекомендованным Brown L. и DasGupta A. для оценки биномиальных пропорций при небольших объемах выборки по формулам:

$$C = \frac{p + \frac{Z^2}{2n} \pm Z\sqrt{\frac{p(1-p)}{n} + \frac{Z^2}{4n^2}}}{1 + \frac{Z^2}{n}},$$

где: p — доля положительных (для чувствительности) или отрицательных (для специфичности) результатов; n — объем выборки; z = 1,96 для 95% доверительной вероятности. Коэффициент вариации рассчитывали по формуле: $CV = S/X \times 100\%$, где S — стандартное отклонение; X — среднее арифметическое значение [22].

• Разработанный набор реагентов сравнивали с коммерческим набором «РеалБест-Вет РНК NDV генотип» (АО «Вектор-Бест», Россия) на 7 положительных образцах РНК с различными генотипами. Анализ выполняли в трех параллелях в рамках одной постановки; сравнивали значения Ct, наличие/отсутствие дифференциации по патотипам и воспроизводимость результатов. Сравнительный анализ двух наборов реагентов был выполнен на ограниченном числе образцов в связи с недостаточным количеством доступного клинического материала на территории Российской Федерации на момент проведения исследования. Данное обстоятельство следует учитывать при интерпретации полученных результатов. Для оценки достоверности различий между двумя наборами реагентов использовали критерий χ^2 Пирсона с поправкой Йейтса при $n < 30$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для филогенетического анализа использовали полноразмерные нуклеотидные последовательности, кодирующие ген F, включая участок, кодирующий сайт протеолитического расщепления, полученные для исследованных изолятов, а также репрезентативные последовательности штаммов ВБН, относящиеся к генотипам классов I и II, представленными в базе данных GenBank. На основании полученных последовательностей было построено филогенетическое дерево, отражающее филогенетические взаимоотношения исследованных изолятов с референсными штаммами ВБН.

Как видно из представленного рис. 1, первичные нуклеотидные последовательности кластеризуются следующим образом: AcNoPP795281, AcNoPQ106775, AcNoPQ106774 относятся к генотипу II генетического класса II; AcNoPQ106776 принадлежит к генотипу I генетического класса I, а AcNoPQ106772, AcNoPQ106773, AcNoPP766718, — к генотипу VII генетического класса II. У трех последовательностей AcNoPQ106772, AcNoPQ106773, AcNoPP766718 в сайте протеолиза белка F был выявлен следующий аминокислотный мотив 112-GGRRQKRF-119. Такая последовательность аминокислот характерна для вирулентных штаммов высокой патогенности [17].

Для оценки качества разрабатываемой тест-системы для выявления и дифференциации РНК ВБН на велогенный и лентогенный патотипы в биологическом материале оценивали основные аналитические характеристики методики. Результаты расчета 95%-ного доверительного интервала для диагностической специфичности представлены в таблице 2.

Аналитическая чувствительность — важный параметр оценки качества диагностических тест-систем. С помощью разработанного набора реагентов можно выявить 1000 и более копий/мл РНК ВБН, присутствующих в прошедшей выделение нуклеиновой кислоты пробе. Результаты представлены в таблице 3. Доверительный интервал для диагностической чувствительности составил 64,6–100%, что указывает на необходимость расширения выборки для более полной оценки характеристик набора реагентов.

Внутрипостановочная прецизионность проводилась при анализе десяти повторностей образцов РНК, исследуемых в одной постановке. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 2. **Результаты исследования отрицательных образцов для оценки диагностической специфичности разрабатываемого набора реагентов**

Table 2. **The results of the study of negative samples to assess the diagnostic specificity of the developed reagent kit**

Общее число образцов с отрицательными результатами анализа (n)	Результаты испытуемого набора		Диагностическая специфичность
	Ложно- положительный результат	Истинно отрицательный результат	
70	0	70	100% (95% ДИ: 94,8-100%)

Рис. 1. Филогенетический анализ первичных полноразмерных нуклеотидных последовательностей, кодирующих белок F ВБН, филогенетическая дендрограмма построена с использованием пакета программ MEGA6 методом Maximum likelihood

Fig. 1. Phylogenetic analysis of the primary full-length nucleotide sequences encoding the F protein of NDV, the phylogenetic dendrogram was constructed using the MEGA6 software package using the Maximum likelihood method

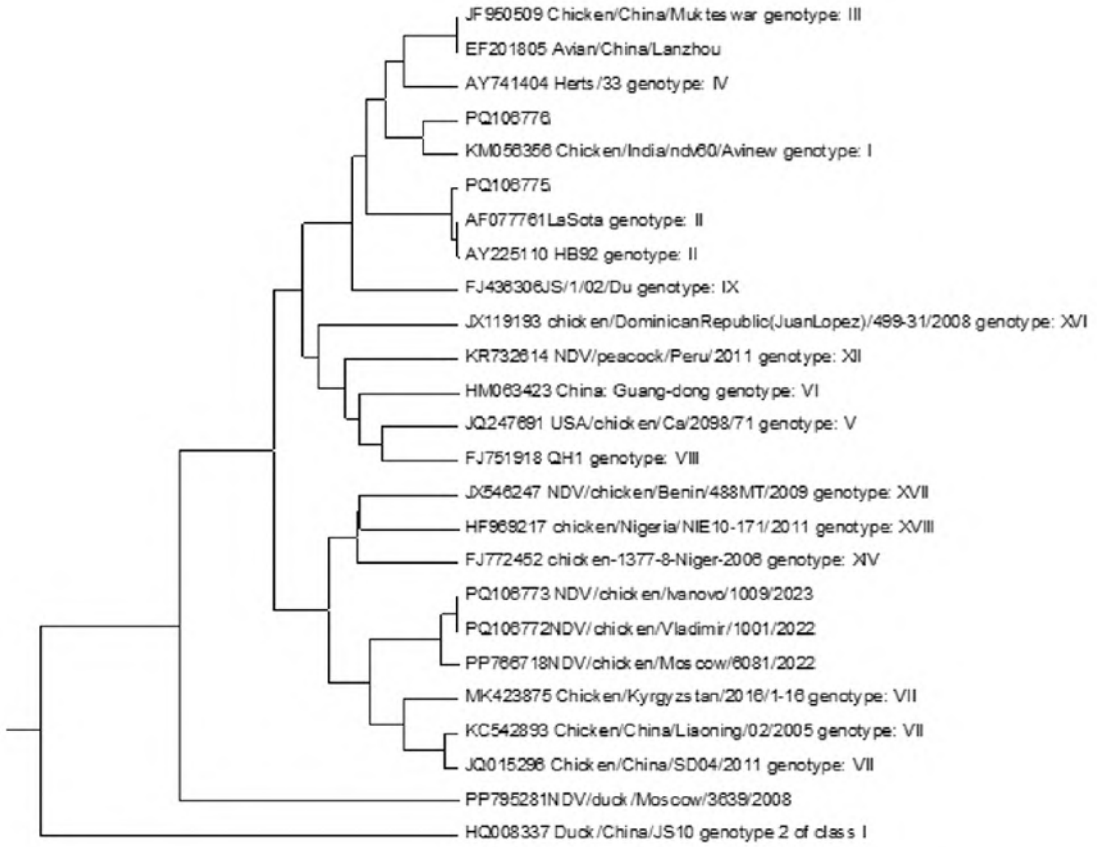


Таблица 3. **Результаты оценки аналитической чувствительности разрабатываемого набора реагентов**
Table 3. **The results of the evaluation of the analytical sensitivity of the developed reagent kit**

Образец	Повтор	Ct	Концентрация, копий/мл	Среднеквадратичное отклонение	Интервал C ±2σ
Образец РНК, полученный методом транскрипции *in vitro* с матрицы кДНК, кодирующей участок генома ВБН, транслирующий M белок	1	32,53	1075	74,6	889–1187
	2	32,66	1050		
	3	32,59	994		
	4	33,26	956		
	5	32,24	1070		
	6	31,72	1187		
	7	33,09	927		
	8	32,35	1021		
	9	32,37	1007		
	10	32,25	1094		
Образец РНК, полученный методом транскрипции *in vitro* с матрицы кДНК, кодирующий участок генома ВБН, транслирующий F белок (велогенный)	1	31,07	1000	274	672–1770
	2	31,54	1087		
	3	30,79	1544		
	4	30,88	1338		
	5	30,44	1614		
	6	32,66	949		
	7	32,31	957		
	8	31,18	1054		
	9	30,76	1600		
	10	31,32	1068		
Образец РНК, полученный методом транскрипции *in vitro* с матрицы кДНК, кодирующий участок генома ВБН, транслирующий F белок (лентогенный)	1	31,51	1000	365	470–1929
	2	31,20	1500		
	3	31,20	1500		
	4	31,13	1470		
	5	31,21	1014		
	6	31,57	924		
	7	30,86	1912		
	8	32,25	867		
	9	31,89	920		
	10	32,14	887		

Таблица 4. **Результаты оценки внутрипостановочной прецизионности разрабатываемого набора реагентов**
Table 4. **The results of the evaluation of the in-stop precision of the developed reagent kit**

Образец	Повтор	Концентрация, копий/мл	Среднее значение концентрации, копий/мл	Среднеквадратичное отклонение, копий/мл	Коэффициент вариации, %
Образец РНК, полученный методом транскрипции *in vitro* с матрицы кДНК, кодирующей участок генома ВБН, транслирующий M белок 1 × 10^5 копий/мл	1	1,00E+05	1,10E+05	9059,8	8,26
	2	1,13E+05			
	3	1,16E+05			
	4	1,13E+05			
	5	9,03E+04			
	6	1,24E+05			
	7	1,10E+05			
	8	1,10E+05			
	9	1,11E+05			
	10	1,09E+05			
Образец РНК, полученный методом транскрипции *in vitro* с матрицы кДНК, кодирующей участок генома ВБН транслирующий F белок (велогенный) 1 × 10^5 копий/мл	1	1,30E+05	1,14E+05	7501,9	6,55
	2	1,19E+05			
	3	1,14E+05			
	4	1,08E+05			
	5	1,18E+05			
	6	1,13E+05			
	7	1,15E+05			
	8	1,12E+05			
	9	1,01E+05			
	10	1,01E+05			
Образец РНК, полученный методом транскрипции *in vitro* с матрицы кДНК, кодирующей участок генома ВБН транслирующий F белок (лентогенный) 1 × 10^5 копиц/мл	1	1,00E+05	1,098E+05	6106,5	5,56
	2	1,10E+05			
	3	1,13E+04			
	4	1,08E+05			
	5	1,18E+05			
	6	1,06E+05			
	7	1,15E+04			
	8	1,16E+04			
	9	1,01E+05			
	10	1,11E+05			

Межпостановочная прецизионность исследовалась при анализе десяти повторностей образцов транскриптов каждой из мишеней, в двух последовательных постановках и составила 8,06% для генетической мишени, транслирующей белок M ВБН; 6,24% для генетической мишени, транслирующей белок F велогенного варианта вируса и 5,27% для генетической мишени, транслирующей белок F лентогенного варианта вируса. Показатели прецизионности набора реагентов для выявления и дифференциации РНК ВБН велогенного и лентогенного вариантов вируса в тестированиях по оценке внутрипостановочной и межпостановочной прецизионности соответствуют критериям пригодности метода, коэффициент вариации не превышает 10%.

Для сравнительной оценки разрабатываемого набора реагентов для выявления и дифференциации РНК ВБН с коммерческим набором «РеалБест-ВетРНК NDV генотип» (г. Новосибирск, Россия) исследовали семь образцов РНК ВБН (табл. 5). Номера доступа этих последовательностей в GenBank указаны в таблице 5.

Набор «РеалБест-ВетРНК NDV генотип» позволяет определить наличие или отсутствие РНК ВБН, а также наличие или отсутствие РНК ВБН вирулентного генотипа. На данный момент времени является единственным набором реагентов, который позволяет проводить подобное исследование. Набор реагентов, представленный в данной статье (далее называется как тестируемый) позволяет выявлять наличие или отсутствие РНК ВБН лентогенного и велогенного варианта вируса в анализируемом образце, прошедшем стадию выделения НК. На рис.2 представлены графики кривых накопления флуоресцентных сигналов по каналам FAM и ROX, отображающих наличие или отсутствие РНК ВБН в исследуемых препаратах РНК. Как видно из представленных данных на рис. 2, наличие РНК ВБН в семи исследуемых образцах было установлено с использованием обоих наборов реагентов.

Таблица 5. **Характеристика секвенированных изолятов вируса болезни Ньюкасла и номера их доступа в базе данных GenBank**

Table 5. **Characteristics of sequenced isolates of Newcastle disease virus and their access numbers in the GenBank database**

№ образца	Номер доступа полногеномных последовательностей ВБН, депонированных в базу данных GenBank	Генотип (патотип)
1	PP766718	генотип VII генетического класса II (велогенный патотип)
2	PQ106772	генотип VII генетического класса II (велогенный патотип)
3	PQ106773	генотип VII генетического класса II (велогенный патотип)
4	PP795281	генотип II генетического класса II (лентогенный патотип)
5	PQ106776	генотип I генетического класса I (лентогенный патотип)
6	PQ106775	генотип II генетического класса II (лентогенный патотип)
7	PQ106774	генотип II генетического класса II (лентогенный патотип)

В наборе реагентов «РеалБест-Вет РНК NDV генотип» по каналу HEX детектируется наличие или отсутствие РНК вирулентного генотипа ВБН. В тестируемом наборе по каналам HEX и ROX детектируется РНК ВБН велогенного и лентогенного штаммов вирусов. Данные представлены на рис. 3. Как следует из рис. 3, наборы реагентов выявляют вирулентные или велогенные варианты вирусов (PQ106772, PQ106773, PP766718), а также тестируемый набор дифференцирует исследуемые препараты РНК ВБН на велогенные (вирулентный генотип) и лентогенные (авирулентный генотип — PP795281, PQ106776, PQ106775, PQ106774) варианты ВБН.

Для удобства сравнения детекции вирулентных или велогенных вариантов вирусов тестируемыми наборами реагентов были вынесены эти данные отдельным рисунком (рис.4).

Рис.2. Графики кривых накопления флуоресцентных сигналов по каналам FAM и ROX, указывающих на наличие РНК ВБН (А — результат амплификации РНК ВБН по каналу FAM в тестируемом наборе реагентов, В- результат амплификации РНК ВБН по каналу ROX набором «РеалБест-Вет РНК NDV генотип»), по оси х — цикл амплификации, по оси у — флуоресценция, в относительных единицах

Fig.2. Graphs of the accumulation curves of fluorescent signals along the FAM and ROX channels indicating the presence of NDV RNA (A is the result of the amplification of NDV RNA through the FAM channel in the tested reagent kit, B is the result of the amplification of NDV RNA through the ROX channel with the set RealBest–Vet NDV RNA genotype), on the x-axis is the amplification cycle, on the y-axis is the fluorescence, in relative units

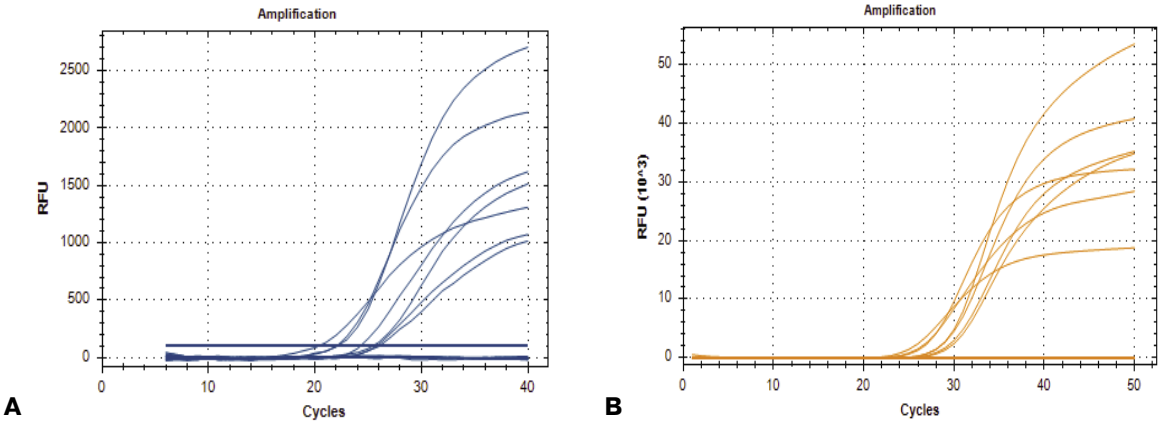


Рис. 3. Графики кривых накопления флуоресцентных сигналов по каналам HEX и ROX, определяющие наличие или отсутствие РНК вирулентного генотипа и дифференциацию на велогенные и лентогенные штаммы ВБН (А — результат амплификации РНК ВБН вирулентного генотипа по каналу HEX в наборе реагентов «РеалБест-Вет РНК NDV генотип», В — результат амплификации по каналам HEX и ROX РНК ВБН с дифференциацией на велогенные и лентогенные штаммы в тестируемом наборе); по оси x — цикл амплификации, по оси y — флуоресценция, в относительных единицах

Fig.3. Graphs of the accumulation curves of fluorescent signals along the HEX and ROX channels, determining the presence or absence of RNA of the virulent genotype and differentiation into velogenic and lentogenic strains of NDV (A is the result of amplification of NDV RNA of the virulent genotype via the HEX channel in the reagent kit RealBest-Vet RNA NDV genotype, B is the result of amplification via HEX channels and ROX NDV RNA with differentiation into velogenic and lentogenic strains in the test kit), on the x-axis is the amplification cycle, on the y-axis is the fluorescence, in relative units

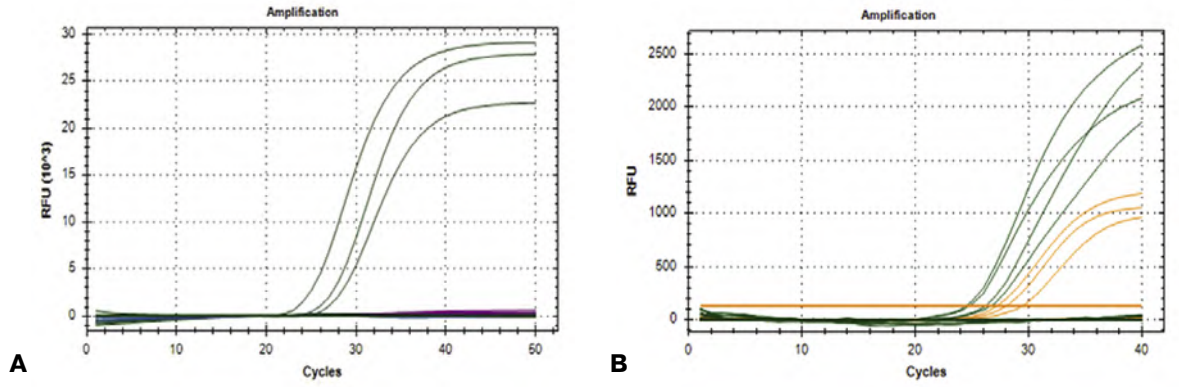
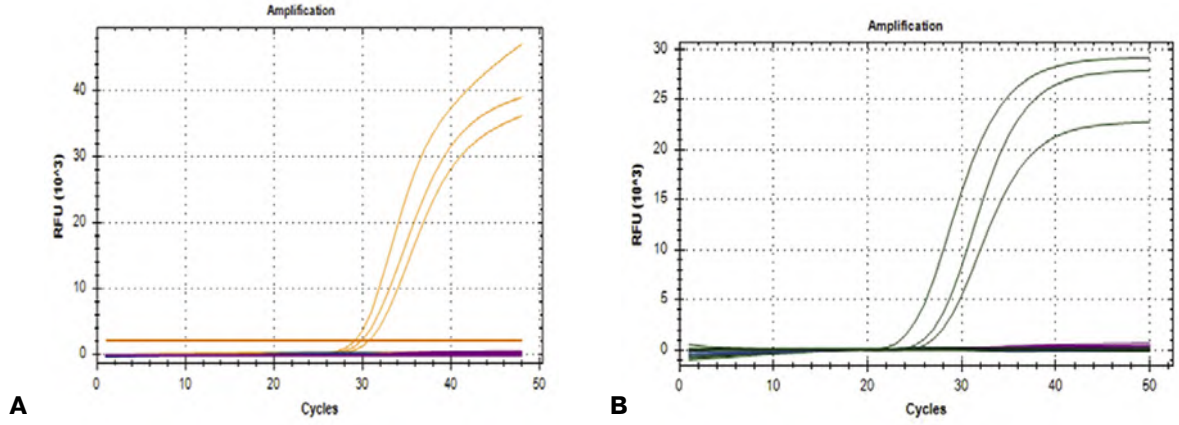


Рис.4. Графики кривых накопления флуоресцентных сигналов по каналам HEX и ROX, определяющие наличие или отсутствие РНК вирулентного генотипа («РеалБест-Вет РНК NDV генотип» — В) и дифференциацию на велогенный вариант ВБН (тестируемый набор — А); по оси x — цикл амплификации, по оси y — флуоресценция, в относительных единицах

Fig.4. Graphs of the accumulation curves of fluorescent signals along the HEX and ROX channels, determining the presence or absence of RNA of the virulent genotype (the Realbestet RNA NDV genotype is — B) and differentiation into the velogenic variant of NDV (the test set is A); on the x-axis is the amplification cycle, on the y-axis is the fluorescence, in relative units



Следует отметить, что сравнительный анализ двух наборов реагентов был выполнен на ограниченном числе образцов в связи с недостаточным количеством доступного клинического материала на территории Российской Федерации на момент проведения исследования. Для повышения статистической достоверности и репрезентативности полученных данных целесообразно проведение дополнительных исследований с использованием большего количества клинических образцов.

Выводы/Conclusion

В рамках настоящего исследования был разработан и валидирован набор реагентов для выявления и дифференциации РНК ВБН лентогенного и велогенного патотипов методом мультиплексной ОТ-ПЦР. Валидацию проводили на ограниченной выборке образцов тканей и смывов, полученных от павших кур и животных с признаками инфекционного заболевания на территории Московской, Владимирской и Ивановской областей в период 2021–2022 гг. Одним из ограничений исследования являлось использование исключительно патологического материала от павших животных, что не позволило оценить диагностическую эффективность набора реагентов при ранней прижизненной диагностике инфекции. Полученные в ходе данной работы результаты свидетельствуют о перспективности разработанного метода, вместе с тем для подтверждения его диагностической эффективности и оценки возможности практического применения необходима дальнейшая валидация на большем количестве биологического материала.

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. Munir M., Abbas M., Khan M.T., Zohari S., Berg M. Genomic and biological characterization of a velogenic *Newcastle disease virus* isolated from a healthy backyard poultry flock in 2010. *Virology Journal*. 2012; 9: 46. https://doi.org/10.1186/1743-422X-9-46

2. Трещалина А.А., Ртищев А.А., Шустова Е.Ю., Белякова А.В., Гамбарян А.С., Боравлева Е.Ю. Молекулярная идентификация вируса ньюкаслской болезни, выделенного в домашнем птицехозяйстве Подмосковья летом 2022 года. *Ветеринария сегодня*. 2023; 12(2): 147–153. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-2-147-153

3. Mattocks C.J. *et al.* A standardized framework for the validation and verification of clinical molecular genetic tests. *European Journal of Human Genetics*. 2010; 18(12): 1276–1288. https://doi.org/10.1038/ejhg.2010.101

4. Dimitrov K.M., Ramey A.M., Qiu X., Bahl J., Afonso C.L. Temporal, geographic, and host distribution of avian paramyxovirus 1 (*Newcastle disease virus*). *Infection, Genetics and Evolution*. 2016; 39: 22–34. https://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.01.008

5. Wise M.G. *et al.* Development of a Real-Time Reverse-Transcription PCR for Detection of *Newcastle Disease Virus* RNA in Clinical Samples. *Journal of Clinical Microbiology*. 2004; 42(1): 329–338. https://doi.org/10.1128/jcm.42.1.329-338.2004

6. Aldous E.W., Collins M.S., McGoldrick A., Alexander D.J. Rapid pathotyping of *Newcastle disease virus* (NDV) using fluorogenic probes in a PCR assay. *Veterinary Microbiology*. 2001; 80(3): 201–212. https://doi.org/10.1016/S0378-1135(00)00371-0

7. Mao Q. *et al.* Review detection of *Newcastle disease virus*. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 936251. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.936251

8. Czeglédi A., Ujvári D., Somogyi E., Wehmann E., Werner O., Lomniczi B. Third genome size category of avian paramyxovirus serotype 1 (*Newcastle disease virus*) and evolutionary implications. *Virus Research*. 2006; 120(1–2): 36–48. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2005.11.009

9. Mase M. Hemagglutinin-neuraminidase gene of genotype VII *Newcastle disease virus* strains isolated in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2022; 84(1): 1–5. https://doi.org/10.1292/jvms.21-0490

10. Wise M.G. *et al.* Development of a Real-Time Reverse-Transcription PCR for Detection of *Newcastle Disease Virus* RNA in Clinical Samples. *Journal of Clinical Microbiology*. 2004; 42(1): 329–338. https://doi.org/10.1128/jcm.42.1.329-338.2004

11. Karamendin K., Kydyrmanov A. Cormorants as a Potentially Important Reservoir and Carrier of *Newcastle Disease Virus* on the Asian Continent. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 648091. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.648091

12. Nagy A., Ali A., El-Abideen M.A.Z., Kilany W., Elsayed M. Characterization and genetic analysis of recent and emergent virulent *Newcastle disease viruses* in Egypt. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2020; 67(5): 2000–2012. https://doi.org/10.1111/tbed.13543

13. Qiu X., Jia Y., Zhang Z., Fo X., Wang W. Characterization of Chicken-Derived Genotype VII *Newcastle Disease Virus* Isolates from Northwest China. *The Journal of Poultry Science*. 2023; 60(2): 2023010. https://doi.org/10.2141/jpsa.2023010

14. Rima B. *et al.* ICTV Virus Taxonomy Profile: *Paramyxoviridae*. *Journal of General Virology*. 2019; 100(12): 1593–1594. https://doi.org/10.1099/jgv.0.001328

15. Thi Huong G.T. *et al.* Molecular characterization of a virulent strain of *Newcastle disease virus* isolated from a diseased chicken in Kyrgyzstan in 2016. *Japanese Journal of Veterinary Research*. 2019; 67(4): 263–273. https://doi.org/10.14943/jjvr.67.4.263

16. Yang H.-m., Zhao J., Xue J., Yang Y.-l., Zhang G.-z. Antigenic variation of LaSota and genotype VII *Newcastle disease virus* (NDV) and their efficacy against challenge with velogenic NDV. *Vaccine*. 2017; 35(1): 27–32. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.11.048

17. Miller P.J., Kim L.M., Ip H.S., Afonso C.L. Evolutionary dynamics of *Newcastle disease virus*. *Virology*. 2009; 391(1): 64–72. https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.05.033

18. Songhua S. *et al.* Differentiation of velogenic, mesogenic and lentogenic strains of *Newcastle disease virus* by multiplex RT-PCR. *Annals of Applied Biology*. 2003; 142(1): 49–54. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00228.x

19. Alexander Morris E.R. *et al.* Optimization and Validation of Universal Real-Time RT-PCR Assay to Detect Virulent *Newcastle Disease Viruses*. *Viruses*. 2025; 17(5): 670. https://doi.org/10.3390/v17050670

20. Brown L.D., Cai T.T., DasGupta A. Interval Estimation for a Binomial Proportion. *Statistical Science*. 2001; 16(2): 101–133. https://doi.org/10.1214/ss/1009213286

REFERENCES

1. Munir M., Abbas M., Khan M.T., Zohari S., Berg M. Genomic and biological characterization of a velogenic *Newcastle disease virus* isolated from a healthy backyard poultry flock in 2010. *Virology Journal*. 2012; 9: 46. https://doi.org/10.1186/1743-422X-9-46

2. Treshchalina A.A., Rtishchev A.A., Shustova E.Yu., Belyakova A.V., Gambaryan A.S., Boravleva E.Yu. Molecular identification of *Newcastle disease virus* isolated on the poultry farm of the Moscow Oblast in summer of 2022. *Veterinary Science Today*. 2023; 12(2): 147–153. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-2-147-153

3. Mattocks C.J. *et al.* A standardized framework for the validation and verification of clinical molecular genetic tests. *European Journal of Human Genetics*. 2010; 18(12): 1276–1288. https://doi.org/10.1038/ejhg.2010.101

4. Dimitrov K.M., Ramey A.M., Qiu X., Bahl J., Afonso C.L. Temporal, geographic, and host distribution of avian paramyxovirus 1 (*Newcastle disease virus*). *Infection, Genetics and Evolution*. 2016; 39: 22–34. https://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.01.008

5. Wise M.G. *et al.* Development of a Real-Time Reverse-Transcription PCR for Detection of *Newcastle Disease Virus* RNA in Clinical Samples. *Journal of Clinical Microbiology*. 2004; 42(1): 329–338. https://doi.org/10.1128/jcm.42.1.329-338.2004

6. Aldous E.W., Collins M.S., McGoldrick A., Alexander D.J. Rapid pathotyping of *Newcastle disease virus* (NDV) using fluorogenic probes in a PCR assay. *Veterinary Microbiology*. 2001; 80(3): 201–212. https://doi.org/10.1016/S0378-1135(00)00371-0

7. Mao Q. *et al.* Review detection of *Newcastle disease virus*. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 936251. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.936251

8. Czeglédi A., Ujvári D., Somogyi E., Wehmann E., Werner O., Lomniczi B. Third genome size category of avian paramyxovirus serotype 1 (*Newcastle disease virus*) and evolutionary implications. *Virus Research*. 2006; 120(1–2): 36–48. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2005.11.009

9. Mase M. Hemagglutinin-neuraminidase gene of genotype VII *Newcastle disease virus* strains isolated in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2022; 84(1): 1–5. https://doi.org/10.1292/jvms.21-0490

10. Wise M.G. *et al.* Development of a Real-Time Reverse-Transcription PCR for Detection of *Newcastle Disease Virus* RNA in Clinical Samples. *Journal of Clinical Microbiology*. 2004; 42(1): 329–338. https://doi.org/10.1128/jcm.42.1.329-338.2004

11. Karamendin K., Kydyrmanov A. Cormorants as a Potentially Important Reservoir and Carrier of *Newcastle Disease Virus* on the Asian Continent. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 648091. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.648091

12. Nagy A., Ali A., El-Abideen M.A.Z., Kilany W., Elsayed M. Characterization and genetic analysis of recent and emergent virulent *Newcastle disease viruses* in Egypt. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2020; 67(5): 2000–2012. https://doi.org/10.1111/tbed.13543

13. Qiu X., Jia Y., Zhang Z., Fo X., Wang W. Characterization of Chicken-Derived Genotype VII *Newcastle Disease Virus* Isolates from Northwest China. *The Journal of Poultry Science*. 2023; 60(2): 2023010. https://doi.org/10.2141/jpsa.2023010

14. Rima B. *et al.* ICTV Virus Taxonomy Profile: *Paramyxoviridae*. *Journal of General Virology*. 2019; 100(12): 1593–1594. https://doi.org/10.1099/jgv.0.001328

15. Thi Huong G.T. *et al.* Molecular characterization of a virulent strain of *Newcastle disease virus* isolated from a diseased chicken in Kyrgyzstan in 2016. *Japanese Journal of Veterinary Research*. 2019; 67(4): 263–273. https://doi.org/10.14943/jjvr.67.4.263

16. Yang H.-m., Zhao J., Xue J., Yang Y.-l., Zhang G.-z. Antigenic variation of LaSota and genotype VII *Newcastle disease virus* (NDV) and their efficacy against challenge with velogenic NDV. *Vaccine*. 2017; 35(1): 27–32. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.11.048

17. Miller P.J., Kim L.M., Ip H.S., Afonso C.L. Evolutionary dynamics of *Newcastle disease virus*. *Virology*. 2009; 391(1): 64–72. https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.05.033

18. Songhua S. *et al.* Differentiation of velogenic, mesogenic and lentogenic strains of *Newcastle disease virus* by multiplex RT-PCR. *Annals of Applied Biology*. 2003; 142(1): 49–54. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00228.x

19. Alexander Morris E.R. *et al.* Optimization and Validation of Universal Real-Time RT-PCR Assay to Detect Virulent *Newcastle Disease Viruses*. *Viruses*. 2025; 17(5): 670. https://doi.org/10.3390/v17050670

20. Brown L.D., Cai T.T., DasGupta A. Interval Estimation for a Binomial Proportion. *Statistical Science*. 2001; 16(2): 101–133. https://doi.org/10.1214/ss/1009213286

ОБ АВТОРАХ:

Ирина Эриковна Гафарова[1, 2]
кандидат биологических наук,
• научный консультант [1];
• старший научный сотрудник[2]
gafarovaie@yandex.ru

Татьяна Николаевна Рождественская[1, 3]
доктор ветеринарных наук,
• главный научный сотрудник [1];
• директор по науке[3]
avivac@moscow.com

Анна Владимировна Рузина[1]
научный сотрудник
a.ruzina@avivac.com

[1] Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук,
Рязанский пр-т, 24, Москва, 109428, Россия

[2]ООО Научно-производственное предприятие «Литех»,
ул. Перерва, д. 11, стр. 29, Москва, 109651, Россия

[3]ООО Научно-производственное предприятие «АВИВАК»,
промзона Орлинская, 21А, дер. Горбунки, Ломоносовский р-н, Ленинградская обл., 188502, Россия

ABOUT THE AUTHORS:

Irina Erikovna Gafarova[1,2]
Candidate of Biological Sciences,
• scientific consultant [1];
• senior research[2]
gafarovaie@yandex.ru

Tatiana Nikolaevna Rozhdestvenskaya[1,3]
Doctor of Veterinary Sciences,
• chief researcher[1];
• Director of Science[3]
avivac@moscow.com

Anna Vladimirovna Ruzina[1]
Researcher
a.ruzina@avivac.com

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

[2] Scientific-production enterprise “LYTECH”,
11/29 Pererva st., Moscow, 109651, Russia

[3] Scientific-production enterprise «AVIVAC»,
21A Orlinskaya zone, Gorbunki, Lomonosov district, Leningrad region, 188502, Russia

УДК 631.95/.58.12:612.1

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-65-70

В.В. Гречкина[1, 3]

О.В. Кван[1, 2] ✉

Е.В. Шейда[1, 2]

[1]Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

[2]Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

[3]Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

✉ *kwan111@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 10.03.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

© Гречкина В.В., Кван О.В., Шейда Е.В.

Оценка влияния УДЧ Fe^{56} и Cu^{63} на показатели рубцовой ферментации (*in vitro*) бычков казахской белоголовой породы.

РЕЗЮМЕ

В эксперименте объектом исследования являлась рубцовая жидкость (РЖ), полученная от бычков казахской белоголовой породы, средней массой 310–320 кг, в возрасте 14–15 месяцев, количество 10 гол. Для лабораторных испытаний *in vitro* были подготовлены три вида кормов: контрольный и два опытных. В качестве субстрата для них использовались отруби пшеницы. В емкость инкубатора с контрольным образцом вносили рубцовую жидкость, в опытные образцы дополнительно включали сухим смешиванием УДЧ Cu^{63} — 0,6 мг/кг корма (размер 55 нм), УДЧ Fe^{56} — 0,3 мг/кг корма (размер 90 нм). Исследования показали, что УДЧ металлов оказывали различные воздействия на ферментационные процессы в рубце. Наиболее значимый стимулирующий эффект был отмечен при использовании УДЧ Fe, его введение привело к росту концентрации летучих жирных кислот на 27,3%, увеличению переваримости сухого вещества на 4,6% и снижению концентрации метана на 61,1%. В отличие от УДЧ Cu, где наблюдалось снижение данных показателей. Полученные результаты могут быть использованы для оценки физиологических эффектов в организме бычков, их влияния на обмен веществ, формирования подходов к уменьшению производства метана в преджелудках жвачных. Это позволит определить оптимальные направления практического применения в животноводстве.

Ключевые слова: УДЧ, кормление, метаболизм, ферментация, рубец

Для цитирования: Гречкина В.В., Кван О.В., Шейда Е.В. Оценка влияния УДЧ Fe^{56} и Cu^{63} на показатели рубцовой ферментации (*in vitro*) бычков казахской белоголовой породы. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 65–70.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-65-70

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-65-70

Viktoriya V. Grechkina[1, 3]

Olga V. Kvan[1, 2] ✉

Elena V. Sheida[1, 2]

[1]Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

[2] Orenburg State University, Orenburg Russia

[3]Orenburg State Agrarian University, Orenburg Russia

✉ *kwan111@yandex.ru*

Received by the editorial office: 10.03.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

© Grechkina V.V., Kvan O.V., Sheida E.V.

Evaluation of the influence of Fe^{56} and Cu^{63} UFP on the indices of rumen fermentation (*in vitro*) of Kazakh white-headed bulls.

ABSTRACT

The experimental subject was rumen fluid (RF) obtained from 10 Kazakh Whitehead bulls, aged 14–15 months, with an average weight of 310–320 kg. Three types of feed were prepared for *in vitro* laboratory testing: one control and two experimental ones. Wheat bran was used as a substrate. Rumen fluid was added to the incubator container with the control sample; the experimental samples were additionally added by dry mixing: Cu^{63} UFP — 0.6 mg/kg of feed (size 55 nm), Fe^{56} UFP — 0.3 mg/kg of feed (size 90 nm). Studies have shown that UFP metals have different effects on fermentation processes in the rumen. The most significant stimulating effect was observed with UFP of Fe. Its introduction led to a 27,3% increase in volatile fatty acid concentrations, a 4,6% increase in dry matter digestibility, and a 61,1% decrease in methane concentrations, indicating the preservation of microbial protein synthesis. This contrasts with UFP of Cu, which demonstrated a decrease in these parameters. The obtained results can be used to evaluate the physiological effects in the body of bulls, their influence on metabolism, the formation of approaches to reducing methane production in the forestomachs of ruminants and will allow us to determine optimal areas of practical application in animal husbandry.

Key words: UFP, feeding, metabolism, fermentation, rumen

For citation: Grechkina V.V., Kvan O.V., Sheida E.V. Evaluation of the influence of Fe^{56} and Cu^{63} UFP on the indices of rumen fermentation (in vitro) of Kazakh white-headed bulls. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 65–70 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-65-70

Введение/Introduction

С появлением нанотехнологий открылся новый период в широком спектре научных исследований, охватывающем биотехнологии, биомедицину, ветеринарию и науки о животных. Эти достижения принесли с собой новые инструменты и материалы миниатюрного масштаба, обладающие ценностью для живых организмов [1].

В сфере ветеринарии и обеспечения качества продукции животного происхождения, наноматериалы находят широкое применение. Они используются для раннего выявления патологий, терапевтических целей, точечной доставки медикаментов, а также в процессах кормления, разведения и воспроизводства сельскохозяйственных животных. Кроме того, применение нанотехнологий способствует повышению потребительской ценности продуктов животноводства и гарантирует безопасность пищевой продукции. Среди разнообразных наноматериалов, используемых для этих целей, выделяются такие, как липосомы, полимерные наночастицы, дендримеры, наночастицы металлов, углеродные наноструктуры, квантовые точки, углеродные нанотрубки, наночастицы на основе магнитных материалов и фуллерены [2].

Нано-формы минеральных соединений демонстрируют значительно более высокий уровень биологической активности по сравнению с их органическими и традиционными неорганическими аналогами. Например, железо (Fe) напрямую не действует на целлюлолитику — это не гормон и не фермент. Но в микрофлоре он часто работает как сигнальная молекула или кофактор, и в случае с некоторыми целлюлолитическими бактериями (например, из рода *Cellulomonas* или *Clostridium*) добавление железа действительно стимулирует выработку ферментов, расщепляющих целлюлозу (целлюлаз) [3, 4].

Благодаря увеличенной площади активной поверхности и улучшенной поверхностной функциональности, ультрадисперсные частицы (УДЧ) обладают исключительной проникающей способностью и более эффективным усвоением в пищеварительной системе. Ионы меди могут блокировать активные центры или даже встраиваться в структуру фермента, нарушая его конформацию. Кроме того, медь способна образовывать координационные связи с функциональными группами на поверхности, что тоже мешает доступу субстрата. В ряде исследований показано, что избыток меди снижает каталитическую активность в реакциях, связанных с окислением или гидролизом [5].

Рацион, потребляемый травоядными млекопитающими, такими как коровы и овцы, задерживается в их преджелудке (рубце) на значительное время. Здесь он подвергается частичному перемешиванию вследствие перистальтических сокращений, проходит ферментацию при участии разнообразных микроорганизмов и энзимов, и в конечном итоге превращается в усвояемые питательные вещества. Влияние железа и меди на рубцовую ферментацию различно, и эти микроэлементы могут как стимулировать, так и подавлять процессы в зависимости от формы соединения, дозы и исходного состояния микробиома рубца [6].

Тем не менее, если доля жестких, волокнистых компонентов в корме оказывается очень высокой или, наоборот, недостаточной, процесс ферментации может нарушаться, приводя к ряду негативных последствий. Поэтому при составлении рациона для жвачных животных крайне важно уделять пристальное внимание не только выбору самих кормовых компонентов, но и их питательному составу [7]. Обогащение кормов минеральными веществами способно улучшить их питательные свойства и сделать возможным применение сырья более низкого качества [8].

По этой причине железо и медь стабильно вводят в состав пищевых продуктов и кормовых смесей для людей и сельскохозяйственных животных. Это необходимо для поддержания нормального функционирования организма и обеспечения суточной потребности. Если легкий недостаток меди у жвачных животных может не вызывать видимых симптомов, то его выраженный дефицит негативно сказывается на иммунитете, что, в свою очередь, может нарушить взаимоотношения между организмом хозяина и микроорганизмами. Следует отметить, что ограниченное число ученых исследовало воздействие добавок меди на микрофлору преджелудков жвачных [9].

Несмотря на значительное число научных изысканий, изучающих роль железа и меди в поддержании здоровья и повышении продуктивности сельскохозяйственных животных, существует ощутимый пробел в понимании их воздействия на общие механизмы пищеварения, в частности, у жвачных. Была выдвинута гипотеза, согласно которой введение ультрадисперсных форм железа и меди способно модифицировать параметры ферментации в рубце, влиять на преобразование веществ в его содержимом, тем самым улучшая усвояемость корма [10].

Цель исследования — изучить показатели рубцовой ферментации (in vitro) у бычков казахской белоголовой породы при введении УДЧ Fe и Cu.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводили в период 2024–2025 гг. на базе отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Оренбург, Россия).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования осуществлялись в соответствии с требованиями инструкций и рекомендаций к выполнению биологических исследований. При проведении исследований были предприняты меры,

чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество исследованных опытных образцов.[1]

Объектом исследования являлась рубцовая жидкость (РЖ), полученная от бычков казахской белоголовой породы, средней массой 310–320 кг, в возрасте 14–15 месяцев, количество 10 гол.

Лабораторные исследования проводили в Испытательном центре ЦКП ФНЦ Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Оренбург, Россия).

В состав рациона для животных, сформированного по рекомендациям Калашникова А.П. *и др*.[2] (2003), входило: сено злаковое (1 кг), сено бобовое (2 кг), силос кукурузный (9,5 кг), дробленая зерносмесь (2 кг), жмых подсолнечный (0,1 кг), патока кормовая (0,6 кг), соль поваренная (37 г), монокальцийфосфат (47,7 г), премикс (20 г).

Отбор проб содержимого рубца производили спустя 12 часов после кормления через хроническую фистулу рубца (ANKOM, d = 80 мм) резиновым шлангом длиной 200 см и наружным диаметром 40 мм в термос, объемом 3 литра. Транспортировку в лабораторию осуществляли в термосах в течении 30 минут.

Исследования производили методом *in vitro* с помощью инкубатора «ANKOM Daisy II» (модификации D200 и D200I) по специализированной методике (США). Перед использованием пробы РЖ фильтровали через 4 слоя марли и смешивали с буферным раствором в соотношении 1:4. Буферный раствор по химическому составу представляет слюну, поддерживает pH «искусственного рубца», близкую к физиологической. Перед смешиванием буферный раствор подогревали до 40 °С и насыщали CO_2.

Для *in vitro* исследований были сформированы образцы корма — контрольный и 2 опытных, в качестве субстрата брали пшеничные отруби. В емкость инкубатора с контрольным образцом вносили рубцовую жидкость, в опытные образцы дополнительно включали сухим смешиванием ультрадисперсные частицы Cu^{63} — 0,6 мг/кг корма (размер 55 нм), ультрадисперсные частицы Fe^{56} — 0,3 мг/кг корма (размер 90 нм).

В экспериментальных исследованиях в качестве источников микроэлементов были использованы модифицированные ультрадисперсные частицы (УДЧ) Fe, Cu, предоставленные д.б.н. Н.Н. Глущенко (Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва). Материаловедческая аттестация препаратов включала: электронную сканирующую и просвечивающую микроскопию на приборах JSM 7401F и JEM-2000FX («JEOL», Япония). Рентгенофазовый анализ выполнен на диафрактометре ДРОН-7. УДЧ Cu^{63} были синтезированы с помощью метода конденсации паров металла в газе в институте физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург) из проволоки соответствующего состава. Средний размер НЧ составляет около 60 нм. УДЧ Fe^{56} были получены от АО «ПО Электрохимический завод», Россия.

В ходе экспериментальных исследований УДЧ были приготовлены путем диспергирования водных смесей частиц ультразвуком (f — 35 кГЦ, N — 300 (450) Вт, А — 10 мкм) в течение 30 минут, смешивание проводилось ступенчато.

Образцы корма взвешивали по 500 мг и помещали в полиамидные мешочки. Затем мешочки помещались в инкубатор для инкубации при температуре +39,5 °С: 48 часов — в смеси буферного раствора с рубцовой жидкостью. По окончанию инкубации образцы промывались и высушивались при температуре +60 °С до константного веса.

Коэффициент переваримости сухого вещества *in vitro* вычисляли как разницу масс образца корма с мешочком до и после инкубации по следующей формуле[3]:

$$K = (A - B) / C \times 100\%,$$

где: K — коэффициент переваримости сухого вещества корма (%); А — образец корма с мешочком (мг); В — масса после инкубации (образец корма с мешочком) (мг); С — образец корма без массы мешочка (мг).

Лабораторные исследования рубцовой жидкости проводили в Испытательном центре ЦКП ФНЦ БСТ РАН. Уровень летучих жирных кислот (ЛЖК) в содержимом рубца определяли методом газовой хроматографии на газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000М», определение форм азота по ГОСТ 26180-84[4].

Для сравнения вариантов использовали непараметрический метод анализа. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

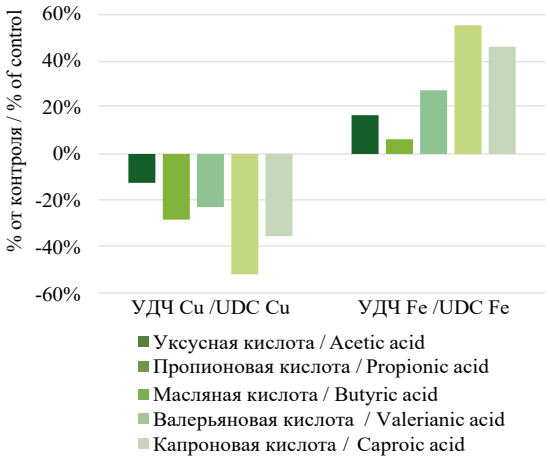
Результаты и обсуждение /
Results and discussion

Проведенный *in vitro* анализ рубцовой жидкости после 48-часовой инкубации выявил статистически значимые изменения в профиле летучих жирных кислот при внесении УДЧ Cu и Fe.

Результаты демонстрируют ингибирующее и стимулирующее влияние исследуемых элементов на метаболические процессы в микробном консорциуме рубца (рисунок 1).

[1] Сарымсакова Б.Е., Розенсон Р.И., Баттакова Ж.Е. Руководство по этике научных исследований: методические рекомендации. Астана. 2007; 98.
[2] Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглов В.В., Клейменов Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие 3-е издание переработанное и дополненное. Москва, 2003. 456 с.
[3] ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества.
[4] ГОСТ 26180-84 Корма. Методы определения аммиачного азота и активной кислотности (pH).

Рис. 1. Уровень летучих жирных кислот в рубцовом содержимом в результате 48-часового инкубирования в присутствии УДЧ, ммоль/л
Fig. 1. The level of volatile fatty acids in rumen contents as a result of 48-hour incubation in the presence of UFP, mmol/l



Примечание: * — p ≤ 0,05; ** — p ≤ 0,01 при сравнении с контрольным образцом

Обменные процессы, протекающие в рубце, находятся в прямой зависимости от концентрации летучих жирных кислот (ЛЖК) в содержимом рубца, поскольку они являются главным продуктом метаболизма рубцовой микрофлоры [11].

Являясь основным продуктом ферментации структурных углеводов, уровень уксусной кислоты служит ключевым индикатором целлюлолитической активности [12].

При включении УДЧ Cu зафиксировано снижение на 12,3%, медь проявила себя как ингибитор ферментации клетчатки, что указывает на умеренное подавление активности фибролитических микроорганизмов. Концентрация уксусной кислоты при добавлении Fe достоверно увеличилась на 16,7% (p ≤ 0,05), что указывает на стимулирующий эффект УДЧ Fe на целлюлолитическую функцию рубцовой микрофлоры.

Уровень пропионовой кислоты, ключевого субстрата глюконеогенеза, отражает эффективность утилизации энергии. У УДЧ меди наблюдается снижение среди всех летучих жирных кислот на 28,1% (p ≤ 0,05), что свидетельствует о глубоком угнетении метаболических путей, ведущих к синтезу пропионата. При включении Fe зафиксирован незначительный прирост на 6,3%.

При добавлении УДЧ Cu наблюдалось снижение концентрации масляной кислоты на 22,7%, что подтверждает общее ингибирующее действие данных частиц. У Fe наблюдался наибольший рост — на 27,3%, что подчеркивает его роль в интенсификации процессов ферментации.

Валерьяновая кислота является маркером специфических путей ферментации [13] часто связанных с метаболизмом белков, так введение УДЧ меди способствовало снижению последнего на 51,4%. У Fe наблюдается значительное увеличение концентрации на 55,0%. Капроновая кислота показала снижение при добавлении УДЧ меди на 35,1%, Fe — выявлено увеличение на 45,9%.

УДЧ меди проявил себя как ингибитор метаболической активности рубцовой микрофлоры, продемонстрировав максимальное снижение по 4 из 5 показателей ЛЖК, в особенности по уровню пропионовой на 28,1% и валериановой на 51,4% кислот. Fe показал последовательно стимулирующий эффект, достоверно увеличив концентрацию всех пяти исследуемых ЛЖК.

Желудочно-кишечный тракт выполняет задачи, значительно превышающие простое переваривание и всасывание нутриентов. Непрерывное взаимодействие микрофлоры кишечника с пищевыми компонентами ставит этот орган в центр иммунной защиты организма [14].

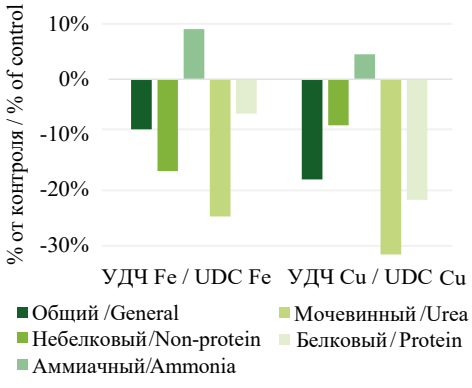
Анализ полученных данных показал, что введение УДЧ железа способствовал снижению уровня общего азота на 9,1%, УДЧ Cu вызвали более выраженное снижение общего азота — на 18,2 %, указывая на заметное замедление общих метаболических процессов микрофлоры. Уровень небелкового азота при внесении УДЧ Fe снизился на 16,7%, что может отражать перераспределение азота в сторону белковых фракций.

Внесение УДЧ Cu способствовало снижению последнего — на 8,3%, соответственно (рисунок 2).

Концентрация аммиачного азота изменялась незначительно, а именно отмечено повышение на 9,1% для УДЧ Fe и на 4,5% для УДЧ Cu, данные результаты укладываются в предельно-допустимые нормы и не свидетельствуют о значимых изменениях процессов дезаминирования. Заметные различия наблюдались в концентрации мочевинного азота, УДЧ Fe способствовало снижению данного показателя на 8,2%, а УДЧ Cu — на 16,7%, что отражает уменьшение утилизации мочевины микробами.

Включение УДЧ Fe снизило белковый азот на 6,3%, что позволяет говорить о сохранности микробного синтеза. УДЧ Cu снизили белковую фракцию на 21,9%. Сравнительный анализ показывает, что наиболее благоприятное влияние на азотистый обмен оказали УДЧ Fe, вызывая

Рис. 2. Изменение концентрации различных форм азота в рубцовом содержимом при 48 часовой инкубации, мг/%
Fig. 2. Changes in the concentration of various forms of nitrogen in rumen contents during 48-hour incubation, mg/%



Примечание: * — p ≤ 0,05; ** — p ≤ 0,01 при сравнении с контрольным образцом

минимальные отклонения от контроля по всем формам азота, сохранив процессы микробного синтеза и не нарушив баланс между белковыми и небелковыми фракциями.

УДЧ Fe проявляет наиболее выраженный стимулирующий эффект на переваримость сухого вещества, а именно увеличение показателя на 4,6% относительно контроля. УДЧ меди не оказал значимого влияния, сохраняя значение показателей на уровне контрольной группы.

Изучение процессов, происходящих в рубце, играет ключевую роль и представляет собой обязательное условие для обеспечения животного необходимыми питательными веществами и энергией [15].

При добавлении наночастиц железа в рацион молодняка крупного рогатого скота, обогащенный жировыми компонентами, наблюдалось улучшение усвояемости сухого вещества корма в рубце на 9%, что сопровождалось ускорением метаболических реакций [16].

Согласно данным [17], УДЧ железа позволяют сохранить нормальное разнообразие пищеварительной системы животных, что выражается в уменьшении численности представителей семейства патогенных и условно-патогенных бактерий, в то время как внесение УДЧ меди способствует повышению численности данных представителей.

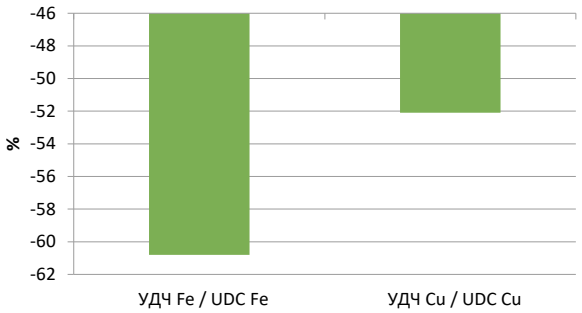
Анализ уровня метана в рубцовой жидкости, показал следующие результаты (рисунок 3).

УДЧ Fe демонстрирует уменьшение эмиссии метана на 61,1%, а УДЧ меди на 52,3%.

Важно учитывать, что эффект УДЧ зависит от источника вещества и дозировки — разные источники и дозировка по-разному влияют на процессы ферментации, что сказывается на образовании газов и выработке метана [18].

Е.В. Шейда *и соавт.* (2022 г.) установили, что дополнительное включение УДЧ на 1 кг СВ рациона оказывало положительное влияние на переваримость СВ и течение метаболических процессов в модели рубца жвачных [19]. Также установлено, что внесение УДЧ железа в корма животным может служить дополнительным депо элементов и снижением эндогенных потерь и влиять на

Рис. 3. Уровень метана, мг/м^3
Fig. 3. Methane level, mg/m^3



Примечание: * — p ≤ 0,05; ** — p ≤ 0,01 при сравнении с контрольным образцом

активность микроорганизмов рубца, которые участвуют в образовании метана (метаногенах) [20].

Выводы/Conclusion

По результатам *in vitro*, УДЧ металлов оказывают разнонаправленное влияние на процессы рубцовой ферментации, наиболее выраженный стимулирующий эффект продемонстрировали УДЧ Fe. Железо обеспечило увеличение концентраций летучих жирных кислот, что может свидетельствовать о повышении ферментативной активности целлюлозолитических, пропионатобразующих и протеолитических бактерий, также УДЧ Fe обеспечили повышение переваримости СВ на 4,6% при минимальном снижении белкового азота на 6,3%, на фоне снижения концентрации метана на 61,1%, что указывает на сохранность синтеза микробного белка. Полученные данные демонстрируют общее усиление ферментационной активности и оптимизацию процессов рубцового метаболизма при введении УДЧ Fe *in vitro*. УДЧ Cu в дозировке 0,6 мг/кг корма улучшают некоторые показатели рубцовой ферментации, уменьшают эмиссию метана по сравнению с контрольной группой животных. Но ключевыми факторами успеха перед широким внедрением их в хозяйство являются: подбор оптимальной дозы, возраст животного и отслеживание показателей рубцовой ферментации в динамике. Это поможет избежать избытка и недостатка частиц в организме.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-00111

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation №. № 25-16-00111

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bai D.-P., Lin X.-Y., Huang Y.-F., Zhang X.-F. Theranostics Aspects of Various Nanoparticles in Veterinary Medicine. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018; 19(11): 3299. https://doi.org/10.3390/ijms19113299
2. Левахин Ю.И., Нуржанов Б.С., Рязанов В.А., Джуламанов Е.Б. Изменения микробиоценоза рубца, крови и переваримость сухого вещества рациона при введении бычкам совместно с жировой добавкой ультрадисперсных частиц железа. *Аграрный вестник Урала*. 2019; (1): 53–59. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-192-1-53-59
3. Gresner N., Wichern A., Lumpp L., Hoedemaker M., Höltershinken M. Effects of grass silages with two levels of free amino acids on degradation of amino acids and fixation of nitrogen in bacterial protein in bovine ruminal fluid using the rumen simulation technique (Rusitec). *Animal Feed Science and Technology.* 2015; 202: 1–11. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.12.012

REFERENCES

1. Bai D.-P., Lin X.-Y., Huang Y.-F., Zhang X.-F. Theranostics Aspects of Various Nanoparticles in Veterinary Medicine. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018; 19(11): 3299. https://doi.org/10.3390/ijms19113299
2. Levakhin Yu.I., Nurzhanov B.S., Ryazanov V.A., Dzhulamanov E.B. Changes in the microbiocenosis of the rumen and digestibility of the dry matter of the diet with the introduction of gobies together fatty addition of ultrafine iron particles. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; (1): 53–59 (in Russian). https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-192-1-53-59
3. Gresner N., Wichern A., Lumpp L., Hoedemaker M., Höltershinken M. Effects of grass silages with two levels of free amino acids on degradation of amino acids and fixation of nitrogen in bacterial protein in bovine ruminal fluid using the rumen simulation technique (Rusitec). *Animal Feed Science and Technology.* 2015; 202: 1–11. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.12.012

4. Hanif A., Sohail M. Agro-industrial Waste Exploitation for Pectin-degrading Enzyme Production by Microbial Fermentation. Molina G., Usmani Z., Sharma M., Benhida R., Kuhad R.C., Gupta V.K. (eds.). Microbial Bioprocessing of Agri-food Wastes. Boca Raton: *CRC Press*. 2023; 117–146. https://doi.org/10.1201/9781003341017-5

5. Шейда Е.В., Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Мирошников И.С. Ферментация в рубце и эффективность использования питательных компонентов корма при включении в рацион жвачных ферментированных кормов. *Аграрная наука*. 2025; (3): 90–96. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-90-96

6. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology.* 2019; 300: 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004

7. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyrine S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production.* 2018; 50(3): 565–571. https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x

8. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction With SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology.* 2018; 9: 2344. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344

9. Усманова Е.Н., Зубоченко Д.В., Остапчук П.С., Куевда Т.А. Селекция мясного скота на повышение эффективности использования корма. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022; (4): 270–286. EDN USETWO

10. Mion B. *et al.* Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 2022; 105(8): 6693–6709. https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908

11. Атландерова К.Н., Мирошников С.А., Рязанов В.А., Дускаев Г.К., Шейда Е.В. Влияние лузги кавитированной на метаболом конечных продуктов ферментации, микробиом и физико-химические параметры рубца (*in vitro*). *Аграрная наука*. 2022; (12): 20–25. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-20-25

12. Lebedev S. *et al.* A study of the exocrinous function of the cattle pancreas after the introduction of feed with various protein source in rations. *Bioscience Research*. 2019; 16(3): 2553–2562. EDN TSTNTX

13. Dai Z. *et al.* Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). Animal Agriculture. Sustainability, Challenges and Innovations. *Academic Press.* 2020; 407–429. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0

14. Teixeira J.A. *et al.* Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic residues and bromatological characterization for animal feed. *Ciência Rural*. 2023; 53(7): e20210720. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210720

15. Fisinin V.I., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Ushakov A.S., Miroshnikova E.P. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(3): 523–540. https://doi.org/10.1017/S0043933918000491

16. Шейда Е.В., Лебедев С.В., Мирошников С.А., Гречкина В.В., Шошина О.В. Адаптационные процессы в пищеварительной системе при введении ультрадисперсных частиц железа в жировые рационы крупного рогатого скота. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(2): 328–342. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.328rus

17. Кван О.В., Сизова Е.А., Вершинина И.А. Влияние ультрадисперсных частиц меди и железа на микробиоценоз кишечника цыплят-бройлеров. *Аграрная наука.* 2024; (2): 61–65. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-61-65

18. Hassan F.-u. *et al.* Phytogenic Additives Can Modulate Rumen Microbiome to Mediate Fermentation Kinetics and Methanogenesis Through Exploiting Diet–Microbe Interaction. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 575801. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.575801

19. Шейда Е.В., Мирошников С.А., Дускаев Г.К., Рязанов В.А., Гречкина В.В. Изменение параметров рубцового содержимого *in vitro* при использовании лузги подсолнечника и цинка в ультрадисперсной форме. *Аграрная наука*. 2022; (6): 43–47. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-43-47

20. Кван О.В., Гречкина В.В., Шейда Е.В., Вершинина И.А. Влияние изотопов УДЧ металлов на физиолого-биохимические показатели цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2026; (3): 42–49. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-42-49

4. Hanif A., Sohail M. Agro-industrial Waste Exploitation for Pectin-degrading Enzyme Production by Microbial Fermentation. Molina G., Usmani Z., Sharma M., Benhida R., Kuhad R.C., Gupta V.K. (eds.). Microbial Bioprocessing of Agri-food Wastes. Boca Raton: *CRC Press*. 2023; 117–146. https://doi.org/10.1201/9781003341017-5

6. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology.* 2019; 300: 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004

7. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyrine S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production.* 2018; 50(3): 565–571. https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x

8. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction With SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology.* 2018; 9: 2344. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344

10. Mion B. *et al.* Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 2022; 105(8): 6693–6709. https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908

12. Lebedev S. *et al.* A study of the exocrinous function of the cattle pancreas after the introduction of feed with various protein source in rations. *Bioscience Research*. 2019; 16(3): 2553–2562. EDN TSTNTX

13. Dai Z. *et al.* Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). Animal Agriculture. Sustainability, Challenges and Innovations. *Academic Press.* 2020; 407–429. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0

14. Teixeira J.A. *et al.* Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic residues and bromatological characterization for animal feed. *Ciência Rural*. 2023; 53(7): e20210720. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210720

15. Fisinin V.I., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Ushakov A.S., Miroshnikova E.P. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(3): 523–540. https://doi.org/10.1017/S0043933918000491

16. Sheida E.V., Lebedev S.V., Miroshnikov S.A., Grechkina V.V., Shoshina O.V. Adaptive responses of cattle digestive system as influenced by dietary ultrafine iron particles combined with fat diets. *Agricultural Biology.* 2022; 57(2): 328–342. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.328eng

17. Kvan O.V., Sizova E.A., Vershinina I.A. Influence of ultrafine particles of copper and iron on the intestinal microbiocenosis of broiler chicken. *Agrarian science*. 2024; (2): 61–65 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-61-65

18. Hassan F.-u. *et al.* Phytogenic Additives Can Modulate Rumen Microbiome to Mediate Fermentation Kinetics and Methanogenesis Through Exploiting Diet–Microbe Interaction. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 575801. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.575801

19. Sheida E.V., Miroshnikov S.A., Duskaev G.K., Ryazanov V.A., Grechkina V.V. Changes in the parameters of ruminal digesta *in vitro* when using sunflower husk and zinc in ultrafine form. *Agrarian science*. 2022; (6): 43–47 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-43-47

20. Kvan O.V., Grechkina V.V., Sheida E.V., Vershinina I.A. The influence of ultra-fine metal isotopes on the physiological and biochemical parameters of broiler chickens. *Agrarian science*. 2026; (3): 42–49 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-42-49

ОБ АВТОРАХ:

Виктория Владимировна Гречкина[1, 3]
кандидат биологических наук
Viktoria1985too@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1159-0531

Ольга Вилориевна Кван [1, 2]
доктор биологических наук
kwan111@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-0561-7002

Елена Владимировна Шейда [1, 2]
доктор биологических наук
elena-shejjda@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-2586-613

1 Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук,
ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

2 Оренбургский государственный университет,
пр. Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

3 Оренбургский государственный аграрный университет,
ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

ABOUT THE AUTHORS:

Viktoriya Vladimirovna Grechkina[1, 3]
Candidate of Biological Sciences
Viktoria1985too@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0561-7002

Olga Vilorievna Kvan [1, 2]
Doctor of Biological Sciences
kwan111@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-0561-7002

Elena Vladimirovna Sheida [1, 2]
Doctor of Biological Sciences
elena-snejjda@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-2586-613

1 Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences,
29 January 9th st., Orenburg, 460000, Russia

2 Orenburg State University,
13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

3 Orenburg State Agrarian University,
18 Chelyuskintsev st., Orenburg, 460014, Russia

УДК 597.552.512

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-71-78

И.В. Соколов

С.В. Дежаткина ✉

Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина. Ульяновск, Россия

✉ *dsw1710@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 26.04.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

© Соколов И.В., Дежаткина С.В.

Эффективность применения цеолит-пробиотической добавки при выращивании радужной форели в установке замкнутого водоснабжения

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Низкая сохранность молоди и уменьшение резистентности к патогенным микроорганизмам у взрослых особей лососевых рыб в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) ведет к разработке кормовых добавок направленного действия, способствующих связыванию и выведению вредных микроорганизмов и токсинов, что повышает сохранность, продуктивность и здоровье рыб.

Результаты. У радужной форели опытной группы параметры морфометрии и экстерьера были лучше, чем в группе аналогов: по живой массе больше на 9,73% ($p < 0,01$), длине тела — на 0,8 см ($p < 0,05$), длине без хвостового плавника — на 1,0 см ($p < 0,05$), длине кишечника — на 7,3 см (31,6%) ($p < 0,01$). При этом коэффициент упитанности по Фультону увеличился на 3% ($p < 0,05$), индекс длины кишечника — на 29,0% ($p < 0,01$); уменьшились индексы: печени — на 2,2% ($p < 0,01$); сердца — на 13,3% ($p < 0,05$) по отношению к контролю.

В итоге за 30 дней опыта получено больше ихтиомассы на 180,48 кг, себестоимость 1 кг радужной форели снизилась на 27,7%, рентабельность производства повысилась на 47,53%.

При выращивании половозрелых лососевых рыб в условиях низких температур установок замкнутого водоснабжения (12 °С) целесообразным является использование цеолит-пробиотической добавки (на основе бактерий *Pediococcus acidilactici,* на цеолитовой матрице) в дозе 4% от массы корма, исследователями отмечен продуктивный и экономический эффект.

Ключевые слова: аквакультура, форель, рыба, кормовая добавка, цеолит, пробиотик, морфометрические показатели, экономическая эффективность

Для цитирования: Соколов И.В., Дежаткина С.В. Эффективность применения цеолит-пробиотической добавки при выращивании радужной форели в установке замкнутого водоснабжения. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 71–78. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-71-78

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-71-78

Iliya V. Sokolov

Svetlana V. Dezhatkina ✉

Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia

✉ *dsw1710@yandex.ru*

Received by the editorial office: 26.04.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

© Sokolov I.V., Dezhatkina S.V.

Efficiency of using zeolite-probiotic additive in growing rainbow trout in closed-loop water supply systems

ABSTRACT

Relevance. The low survival rate of juveniles and reduced resistance to pathogenic microorganisms in adult salmonids in closed-loop aquaculture systems (CLAS) have led to the development of targeted feed additives that bind and eliminate harmful microorganisms and toxins, improving the survival rate, productivity, and health of fish.

Results. In the rainbow trout of the experimental group, morphometric and external parameters were better than in the group of analogues: body weight increased by 9.73% ($p < 0.01$), body length — by 0.8 cm ($p < 0.05$), length without caudal fin — by 1.0 cm ($p < 0.05$), intestinal length — by 7,3 cm (31.6%) ($p < 0.01$). At the same time, the Fulthons fatness coefficient increased by 3% ($p < 0.05$), the intestinal length index increased by 29% ($p < 0.01$); the liver decreased by 2.2% ($p < 0.01$), and the heart decreased by 13.3 % ($p < 0.05$) compared to the control.

As a result, 180,48 kg of fish meat was obtained in 30 days of the experiment, the cost of 1 kg of rainbow trout decreased by 27.7%, and the profitability of production increased by 47.53%.

When raising sexually mature salmon fish under lowtemperature conditions in closedloop aquaculture systems (12 °C), it is advisable to use a zeolite-probiotic additive (based on *Pediococcus acidilactici* bacteria on a zeolite matrix) at a dose of 4% of the feed weight, a productive and economic effect has been identified.

Key words: aquaculture, trout, fish, feed additive, zeolite, probiotic, morphometric indicators, economic efficiency

For citation: Sokolov I.V., Dezhatkina S.V. Efficiency of using zeolite-probiotic additive in growing rainbow trout in closed-loop water supply systems. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 71–78 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-71-78

Введение/Introduction

Долгое время в России основным поставщиком рыбы являлось морское и океаническое промышленное рыболовство. В последние годы в отечественной аквакультуре набирает темп выращивание холодолюбивых рыб, в том числе в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) [1–3]. Искусственно созданные условия отличаются от естественных и не зависят от множества абиотических факторов, напротив, делают их круглогодично контролируемыми и управляемыми, т.е. позволяют сделать их оптимальными для тех или иных гидробионтов. Это является главным преимуществом УЗВ [4–6]. Практикой доказано, что ухудшение гидрохимических параметров и увеличение плотности посадки сопровождаются низкой сохранностью молоди рыб и уменьшением резистентности к патогенным микроорганизмам у взрослых особей [7, 8].

Важной проблемой является несбалансированное кормление рыб, использование низкокачественных кормов и неполноценных рационов [9, 10], что способствует:

- развитию незаразных заболеваний [11, 12];
- нарушению метаболизма и недостатку кислорода [6];
- ухудшению качества мяса рыбы [13];
- гибели и изменениям во внутренних органах [14];
- отсутствию способности менять окраску и быть устойчивыми к изменению факторов внешней среды [6, 7, 11];
- снижению энергии роста особей и качества рыбной продукции [1, 9, 15].

Для форели как холодноводной рыбы требуется температура воды не более 12–17 °С, тогда она будет быстро и максимально набирать мышечную массу и развиваться. В рыбоводных хозяйствах, где температура воды изменяется в течение года (садках и бассейнах) необходимо учитывать подбор кормов применительно к амплитуде колебаний температур водоема [2, 4]. Кроме этого, форель — лососевая рыба и требовательна к содержанию кислорода в воде, что оказывает влияние на ее активность в потреблении корма [5–6].

В последние годы внимание специалистов привлекает разработка кормовых добавок для млекопитающих, птиц и рыб с использованием природных минералов и пробиотиков [11, 16–20]. Ульяновская область богата нерудными полезными ископаемыми — природными цеолитами, которые применяются как носители (минеральная матрица) для бионутриентов (аминокислот, пробиотиков и прочих) [20]. Такое внимание к ним обусловлено многофункциональными и полезными свойствами. В организме цеолиты выполняют роль: молекулярных сит, энтеросорбентов, катализаторов окислительно-восстановительных реакций и ионнообменников. В результате происходит связывание и выведение вредных газов и веществ, аллергенов, экзо- и эндотоксинов, радионуклидов, снижается уровень патогенных микроорганизмов и в тоже время восстанавливается минеральных гомеостаз, идет активизация обменных процессов и анаболизма, животные лучше усваивают корм и быстрее набирают мышечную массу, повышается продуктивность, усиливаются воспроизводительные способности, организм быстрее восстанавливает силы после болезни [21, 22]. Современные технологии термомеханической и ультразвуковой активации минерала, позволяют усилить свойства нативной формы цеолита и повысить ионнообменную способность в 1,5–2 раза, освободить поры от шлаков, примесей, излишней воды, провести дезалюминирование и обогащение (насаждение на минеральную матрицу) биопрепаратами аминокислот и пробиотиков [23–25].

Многочисленными исследованиями доказано, что микрофлора кишечника обеспечивает работу пищеварительной системы, всасывание питательных элементов, синтез витаминов, аминокислот, бактериоцинов, нейтрализацию токсинов [26–29]. А снижение биомассы полезной микрофлоры способствует развитию патогенной, для подавления которой и восстановления нормального микроэкологического статуса пищеварительного тракта широко используют пробиотики [30–32].

Учитывая вышеизложенное, одним из путей решений обозначенных проблем может стать использование в форелеводстве новых отечественных кормовых добавок, созданных на основе технологически активированных природных минералов (кремнийсодержащих цеолитов — минеральной основы для иммобилизованных на ней пробиотических бактерий), что является востребованным, перспективным, но малоизученным [20–21].

Цель исследования — установить влияние на организм, физиолого-биохимический статус и обосновать целесообразность использования цеолит-пробиотческой добавки при выращивании половозрелых лососевых рыб в установке замкнутого водоснабжения, изучить особенности роста массы тела, отдельных частей и органов, основные морфометрические и рыбоводные показатели.

Материал и методы исследования / Material and methods

Научно-производственные эксперименты проведены в 2025 году на 2400 лососевых рыбах (радужной форели, по 1200 в группе) в рыбоводном комплексе «Янтарный ручей» Чердаклинского района Ульяновской области РФ. Данное предприятие специализируется на выращивании товарной рыбы от оплодотворенной икры на стадии глазка до взрослых особей.

В качестве объекта исследования выбраны диплоидные самки радужной форели, которые потребляли корм в сутки из расчета 1,34% от их

биомассы, что соответствовало 15 г/гол/сут. Радужная форель содержалась в условиях низких температур установки замкнутого водоснабжения (12 °С) комплекса «Янтарный ручей». Все мероприятия в ходе выполнения исследований проводили согласно существующим требованиям по содержанию и выращиванию лососевых рыб в установках с замкнутым водоснабжением[1]. Продолжительность опыта составила 30 дней. Для достижения поставленной цели были сформированы две группы рыб по методу аналогов (1 — контроль, 2 — опыт) из одной генерации, 16-месячного возраста, средней массой 1150 г. Подопытных рыб содержали в бассейнах (объемом 18 м^3), все гидрохимические показатели и температура равная 12 °С в течение эксперимента были идентичными. В ходе опыта регулярно вели контроль за основными гидрохимическими показателями и температурой водной среды[2]. Кормление осуществлялось основным рационом (ОР), который состоял из корма AQUAREX ФОРЕЛЬ ВНИРО (рост, 42/24, А75, УЗВ, 7,0 мм), производитель ООО «Мелькомбинат» (Тверь, Россия). Отличие состояло в том, что форель 2-й опытной группы дополнительно к ОР получала цеолит-пробиотическую добавку в количестве 4% от массы корма, а контрольная группа — только ОР (табл. 1). Добавка вводится с корм путем смешивания в миксере. Добавка специально разработана для холодолюбивых рыб при кормлении их при низкой температуре воды. Дозировка выбрана на основании ранее проведенных исследований на лососевой рыбе учеными Ульяновского ГАУ (Свешниковой Е.В. *и др.,* 2020).

Цеолит-пробиотическая добавка разработана учеными в лабораторных условиях научно-технического центра «Органик» Ульяновского ГАУ.

В качестве минеральной основы был использован природный цеолит месторождения «Юшанское» Ульяновской области. В заводских условиях (научно-производственного комплекса «ЦЕОЛИТ» г. Ульяновск) предварительно его подвергали термо-механической и ультразвуковой активации, увеличивая диаметр пор — «входных окон» структурной решетки цеолита и подвижность катионов щелочных и щелочноземельных металлов.

Для обогащения минерала был взят референс-штамм из коллекции Национального биоресурсного центра Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов ФГБУ «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов» Минобрнауки России *Pediococcus acidilactici* (В-13936). Культивирование и накопление бактериальной массы, что является важным фактором для достижения нужной концентрации клеток на 1 мл (КОЕ/мл), проводили в микробиологической

Таблица 1. **Схема опыта**
Table 1. **Experience diagram**

Наименование	1 группа контроль	2 группа опыт
Условия кормления	ОР	ОР + 4% от массы корма (модифицированного цеолита, обогащенного пробиотиком *Pediococcus acidilactici* и биокомпонентами)

лаборатории кафедры микробиологии, вирусологии, эпизоотологии и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. Для культивирования штамма *Pediococcus acidilactici B-13936* был использован MRS- бульон (Himedia, Индия). Для подбора оптимальной питательной среды, с целью культивирования были использованы: LB- бульон по Lennox (Диаэм, Россия), триптон-глюкозо-экстрактный бульон со следующим составом (г/л): 5,0 г пептон (гидролизат казеина) (Россия), 3,0 г дрожжевой экстракт (Диаэм, Россия), 1,0 г глюкоза (ЛенРеактив, Россия), 5,0 г хлорид натрия (ЛенРеактив, Россия); и модифицированный TGE-бульон (г/л): 5,0 г пептон (гидролизат казеина) (Россия), 3,0 г дрожжевой экстракт (Диаэм, Россия), 10,0 г глюкоза (ЛенРеактив, Россия), 5,0 г хлорид натрия (ЛенРеактив, Россия); 0,05 г марганца сульфат.

В состав наполнителя также вводили дополнительные ингредиенты и концентрат аминокислот «ВитаАмин» (ООО «Семирамида», г. Москва), полученный методом ферментативного гидролиза из продуктов убоя животных (крови). Концентрат характеризуется высокой биологической активностью, быстро усваивается организмом, содержит 17 аминокислот, витамины *A, D* и группы *B*, доля белка — 35 %. Состав разработанной кормовой добавки представлен в таблице 2, в себя включает: 80% модифицированного цеолита, 2% *п*робиотика *Pediococcus acidilactici*, 3% аминокислотного комплекса «ВитаАмин» и 15% добавочных компонентов (табл. 2).

Рыбоводно-биологические и морфо-физиологические показатели радужной форели определяли путем взвешивания по 20 особей из каждой группы, используя традиционные методы[3].

Таблица 2. **Состав цеолит-пробиотической добавки для рыб**
Table 2. **Composition of a zeolite-probiotic supplement for fish**

№	Компоненты	Доля в %
1	Цеолит модифицированный (фракция 3–5 мм)	80
2	Пробиотик *Pediococcus acidilactici* (10^{10} КОЕ/кг)	2
3	Аминокислоты (препарат «ВитаАмин»)	3
4	Добавочные компоненты (кукурузный крахмал, глюкоза, меласса кукурузная, растительное масло, усилители вкуса для рыб	15
	Итого	100

[1] Приказ Минсельхоза РФ от 23.12.2020 № 782 «Об утверждении ветеринарных правил содержания рыб и иных водных животных в искусственно созданной среде обитания в целях их разведения, выращивания, реализации и акклиматизации»
[2] Привезенцев Ю.А. Использование теплых вод для разведения рыбы. М.: Агропромиздат. 1985; 176.
[3] Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). Москва.: Пищ. пром-сть. 1966; 376. Власов В.А. Практикум по рыбоводству. Москва. 2005; 106; ISBN 5-9675-0045-6.

Взвешивание проводили в начале и по окончании научно-производственного эксперимента, по установленным данным рассчитывали показатели интенсивности их роста: абсолютный, среднесуточный и относительный приросты, коэффициент упитанности рыбы, индексов внутренних органов. Для измерения массы органов и тела особей использовали весы CAS SW-5 (Южная Корея, точность 2 г, поверка 25.04.25). Все манипуляции проводили безопасно для животных[4]. В качестве анестезии использовали гвоздичное масло, в результате его действия никакого вреда для здоровья рыбы не было причинено, стресс-факторы не могли повлиять на показатели крови. Взятие крови проводили из хвостовой вены рыб до кормления в начале и в конце опыта[5]. Определение показателей морфо-биохимического состава крови проводили с использованием анализаторов: Микро БиАН 540 (ООО НПП «ТЕХНОМЕДИКА», Россия) и ERBA XL-180 (Чехия) и реагентов Lachema. Оценку качества воды определяли экспресс-тестами Api (ООО «ПРОГРУПП», Россия), содержание кислорода — оксиметром HI146-04 (ООО «ДВ-ЭКСПЕРТ», Россия). По завершению опыта определяли экономическую эффективность (по ценам на 2025 г) применения цеолитсодержащей добавки для взрослых особей радужной форели[6]. За время эксперимента падежа не было, выживаемость лососевых рыб в контрольной и опытной группе составила 100%.

Достоверность результатов подтверждена большим объемом выборок (научно-производственные испытания проведены на 2400 рыбах по 1200 в группе), статистический учет вели на 40 взрослых особях радужной форели (по 20 рыб в группе), для обработки полученных данных использовали программу «Statistika» с вычислением критерия Стьюдента, различия между группами считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Скармливание цеолит-пробиотической добавки в течение 30 дней опыта способствовало улучшению морфо-биохимического профиля и активизации основных функций крови, усилению окислительно-восстановительных реакций и обменных процессов в организме радужной форели 2-й группы. Это проявилось повышением в рамках норм-ряда параметров: числа эритроцитов на 7,61%, до $1,98 \pm 0,14 \times 10^{12}$/л, гемоглобина — на 9,16%, до $105,80 \pm 1,59$ г/л ($p < 0,01$); лейкоцитов — на 8,15%, глюкозы — на 12,76%, до $4,94 \pm 0,10$ ммоль/л ($p < 0,05$), общего белка — на 21,71%, до $51,91 \pm 0,88$ г/л ($p < 0,05$), альбуминов — на 9,2% ($p < 0,05$), при одновременном снижении содержания мочевины и билирубина на 12,5 и 13,23% соответственно ($p < 0,05$) по сравнению с контролем.

Результаты проведенных исследований согласуются с выводами авторов научных публикаций [3, 6, 14–19], которые опытным путем установили положительное влияние на показатели красной и белой крови, физиолого-биохимический статус рыб введения в их рацион пробиотических кормовых добавок, отмечая усиление транспортной, дыхательной и защитной функции крови, а также подчеркивая интенсивность метаболических процессов и активность ферментных систем.

Расчет индексов телосложения подтверждает данные закономерности роста рыб при использовании цеолит-пробиотической добавки (табл. 3). Расчеты показали, что коэффициент упитанности по Фультону у рыб 2-й группы увеличился на 3% ($p < 0,05$), индекс длины кишечника — на 29,0% ($p < 0,01$); индекс относительного охвата тела — на 1,35% ($p < 0,05$). В тоже время уменьшились индексы: относительной длины головы на 1,5% ($p < 0,05$); печени — на 2,2% ($p < 0,01$); сердца — на 13,3% ($p < 0,05$) в отношению к контролю.

Полученные в проведенном исследовании данные согласуются с исследованиями Е.В. Свешниковой и соавторов [19], которые при скармливании радужной форели кормовой добавки

Таблица 3. **Индексы телосложения радужной форели при скармливании цеолит-пробиотической добавки ($n = 20, X \pm S_x$)**

Table 3. **Body composition indices of rainbow trout fed with a zeolite-probiotic supplement ($n = 20, X \pm S_x$)**

Пластические признаки	1- группа контроль	2- группа опыт
Масса, г	1542 ± 40	1692 ± 20**
Стандартная длина (без хвостового плавника), см	45,4 ± 0,6	46,4 ± 0,2*
Коэффициент упитанности по Фультону, % (масса тела/стандартная длина тела в кубе) *100%	1,65 ± 0,03	1,70 ± 0,02*
Индекс относительной высоты тела, % (наибольшая высота тела/стандартная длина тела) *100%	26,4 ± 0,20	26,4 ± 0,14*
Индекс относительной длины головы, % (длина головы/стандартная длина тела) *100%	20,1 ± 0,19	19,8 ± 0,06*
Индекс длины кишечника, % (длина кишечника /стандартная длина тела) *100%	50,7 ± 2,97	65,4 ± 3,17**
Индекс относительного обхвата тела, % (наибольший обхват тела/стандартная длина тела) *100%	63,8 ± 0,65	64,6 ± 0,22*
Индекс печени, % (масса печени/масса рыбы) *100%	0,92 ± 0,05	0,90 ± 0,03**
Индекс селезенки, % (масса селезенки/масса рыбы) *100%	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01
Индекс сердца, % (масса сердца/масса рыбы) *100%	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,01*

Примечание: * — ($p < 0,05$), ** — ($p < 0,01$) по сравнению с контролем

[4] Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях [электронный ресурс] [рус., англ.]: заключена в г. Страсбурге 18.03.1986: ETS No 123. URL: http://www.conventions.coe.int

[5] Власов В.А. Практикум по рыбоводству. Москва. 2005; 106; ISBN 5-9675-0045-6

[6] Экономика сельского хозяйства : учебник. Г.А. Петранёва, Н.Я. Коваленко, А.Н. Романов, О.А. Моисеева ; под ред. проф. Г.А. Петранёвой. — М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2012. — 288.

«Акваспорин» отмечали у особей наибольшую высоту тела (на 15% статистически достоверно больше контроля), полуобхвата тела (на 8,0%), при этом коэффициент упитанности у форели был высоким и составил 1,9.

В ходе исследований было установлено, что введение в рацион радужной форели добавки на основе модифицированного цеолита, обогащенного пробиотиком *Pediococcus acidilactici* и биокомпонентами в количестве 4% от массы корма способствует увеличению живой массы рыб на 9,73% до 1692 ± 20 г ($p < 0,01$), против 1542 ± 40 г в контроле, абсолютного прироста — на 38,4% до 542,2 г (табл. 3, 4), что говорит о положительном анаболическом эффекте испытуемой добавки.

Полученные данные согласуются с исследованиями ряда авторов. Так, в работе В.Н. Любимировой и соавторов [18] при изучении эффективности кормовой добавки «Правад», которая содержит в своем составе пробиотики, незаменимые аминокислоты, адаптогены и витамины, выявлено повышение весовых характеристик русского осетра. В частности, относительный прирост в опытной группе составил 44,4% против 14,6% в контроле. Д.С. Шеховцев и соавторы [23] на фоне применения в составе корма добавок абиопептид и абиопептид с кобальтом для выращивания радужной форели получили увеличение абсолютного прироста живой массы в опытных группах на 44,3 и 46,1% больше, чем в контроле. Аналогичные эффекты отмечали Е.В. Спирина и соавторы [11], Жигин А.В., Сытова М.В., Есавкин Ю.И. [*и др.*] [17], Е.В. Свешникова и соавторы [19].

Анализ обмеров показал, что у особей опытной группы параметры морфометрии были лучше, чем в группе аналогов. Радужная форель 2-й группы отличалась не только большей (на 9,73%) живой массой 1692 ± 20 г ($p < 0,01$), но и большей (на 7,08%) массой печени, которая составила 15,28 ± 0,47 г ($p < 0,05$). А также имели меньшую долю внутреннего жира на 19,23% ($p < 0,01$), плавательного пузыря — на 3,58% ($p < 0,05$) и жабер — на 3,44% ($p < 0,05$).

Выявленные результаты согласуются с данными Д.С. Шеховцева и его соавторов [23], которые у особей радужной форели на фоне аналогичной добавки отмечали увеличение относительной массы желудочно-кишечного тракта, мышц, при одновременном уменьшении относительной массы тушки, порки, головы и жабр.

Изучение экстерьерных показателей на фоне применения цеолит-пробиотической добавки в кормлении радужной форели выявило ростовой эффект. По сравнению с контролем у рыб опытной группы были достоверно больше следующие параметры: длина тела — на 0,8 см ($p < 0,05$), длина без хвостового плавника — на 1,0 см ($p < 0,05$), наибольшая высота головы — на 1,13 см ($p < 0,05$), наибольшая высота тела — на 2,3% ($p < 0,05$), наибольший обхват тела — на 1,0 см ($p < 0,01$), длина кишечника — на 7,3 см (31,6%) ($p < 0,01$).

Полученные результаты согласуются с авторами отечественной и зарубежной литературы, которые выявили положительное влияние пробиотических бактерий в составе кормовых добавок для рыб [14–19 и др.]. В работе Д.В. Рудого, А.В. Ольшевской, В.Н. Шевченко В.Н. [*и др.*] установлена эффективность действия пробиотических бактерий *Bacillus subtilis* (штамм МТ48 и МТ74) в составе корма на рыбоводно-биологические показатели форели. Авторы наблюдали увеличение средней индивидуальной массы рыб на 12,68% и длины их тела по сравнению с аналогами [16]. Аналогичный эффект отмечен в экспериментах на двухлетках радужной форели Ю.И. Есавкиным, А.В. Жигиным, А.А. Максимовой [*и др.*] при использовании пробиотической добавки «Энзимспорин» [15]. У особей опытной группы увеличились показатели: индекса обхвата тела (66,7%, при $p < 0,05$), коэффициент упитанности, относительной длины желудка и кишечника, что характеризует высокую пищевую активность.

Оценка экономической эффективности применения цеолит-пробиотической добавки для половозрелых лососевых рыб дана в таблице 4. Из которой видно, что при общей продолжительности эксперимента — 30 дней в опытной группе (из расчета на прирост живой массы) было получено больше ихтеомассы на 180,48 кг. При цене реализации 1100 рублей за 1 кг форели выручка составила 715,7 против 517,2 тыс. руб. в группе аналогов, что больше на 198,5 тыс. руб.

Таблица 4. **Экономическая эффективность использования цеолит-пробиотической добавки в пересчете на прирост живой массы форели**

Table 4. **The economic efficiency of using a zeoliteprobiotic supplement, expressed in terms of the increase in live weight of trout**

Показатель	Группы	
	1 — контроль	2 — опыт
Поголовье на начало опыта, гол.	1200	1200
Продолжительность опыта, дней	30	30
Начальная живая масса (средняя), г	1150,0	1150,0
Конечная живая масса (средняя), г	1541,8	1692,2
Абсолютный прирост за опытный период, г	391,8	542,2
Получено на прирост живой массы от группы рыбы за опытный период, кг	470,16	650,64
Цена реализации, руб./кг	1100,0	1100,0
Выручка от реализации, тыс. руб.	517,2	715,7
Себестоимость 1 кг рыбы, руб.	871,5	629,76
Общепроизводственные затраты на выращивание рыбы, тыс. руб.	409,74	409,74
Стоимость 1 кг добавки, руб.	–	100
Расход добавки на группу, кг	–	21,6
Стоимость затрат на добавку, тыс. руб.	–	2,16
Общие затраты, тыс. руб.	409,74	411,9
Прибыль, тыс. руб.	107,46	303,8
Прибыль, тыс. руб., ± к контролю		+ 196,34
Рентабельность, %	26,23	73,76
Рентабельность, ± к контролю		+ 47,53

Следовательно, применение испытуемой кормовой добавки на основе модифицированного цеолита, обогащенного пробиотиком *Pediococcus acidilactici* и биокомпонентами в форелеводстве способствовало повышению рентабельности производства на 47,53%, при снижении затрат корма и себестоимости 1 кг форели на 27,7% в рыбоводческом комплексе «Янтарный ручей», что является экономически выгодным и целесообразным.

Полученные данные согласуются с работами других ученых, которые экономически подтверждают эффективность применения кормовых добавок с использованием пробиотических средств и минерально-витаминных комплексов. Д.С. Шеховцев и соавторы [23] при выращивании радужной форели на фоне вышеназванных добавок получили экономический эффект в опытной группе рыб на 342,0 руб./м^2 больше, чем в контроле.

Установленные исследователями данные согласуются с иностранными литературными источниками [22, 32, 36], в частности казахские ученые Текебаева Ж.Б., Шахабаева Г.С., Сармурзина З.С. [*и др.*] в своих исследованиях доказали необходимость и эффективность пробиотических препаратов для рыб [24]; исследованиями Hasan I., Rimoldi S., Saroglia G. [*et al.*] обосновано использование экологически чистых кормов для рыб, содержащих насекомых и пробиотики, выявлено их положительное действие на микробиоту кишечника пресноводных и морских рыб [31, 33–35].

Изучая литературу и проводя параллели между другими биологически активными кормовыми добавками, было отмечено, что результаты проведенного исследования согласуются с публикациями о положительном влиянии минеральных добавок и сорбентов на морфометрические и рыбоводно-биологические показатели лососевых рыб. В опытах на радужной форели при использовании селенсодержащей кормовой добавки «Кормогран Селен-3» А.В. Жигиным с соавторами [17] установлена выраженная закономерность по индексам максимальной высоты тела и длине кишечника: с увеличением массы рыбы эти показатели на 20–40% превосходят значения по сравнению с началом опыта.

Отдельные авторы доказали, что введение минеральной добавки в комбикорм способствуют снижению относительной массы сердца, селезенки, гонад и накоплению полостного жира. Оренбургские ученые Е.П. Мирошникова, О.В. Инин и М.С. Мингазова выявили благоприятное влияние активированного угля и фитобиотика на организм радужной форели, наибольший прирост живой массы особей (на 16% больше контроля) выявлен при скармливании активированного угля [13].

Выводы/Conclusion

Установлена целесообразность применения цеолит-пробиотческой добавки (на основе бактерий Pediococcus acidilactici, иммобилизированных на цеолитовой матрице) в дозе 4% от массы корма при выращивании радужной форели в условиях низких температур установок замкнутого водоснабжения (12 °С). У форели опытной группы выявлено улучшение основных морфометрических и рыбоводных показателей: по живой массе больше на 9,73% ($p < 0,01$), длине тела — на 0,8 см ($p < 0,05$), длине без хвостового плавника — на 1,0 см ($p < 0,05$), длине кишечника — на 7,3 см (31,6%) ($p < 0,01$); индексу упитанности по Фультону — на 3% ($p < 0,05$), индексу длины кишечника — на 29,0% ($p < 0,01$). Абсолютный прирост рыб на фоне применения добавки повысился на 16,1% по сравнению с контролем. Установлен экономический эффект, за 30 дней опыта получено больше ихтиомассы на 180,48 кг, при снижении себестоимости 1 кг радужной форели на 27,7% и увеличении рентабельности ее производства на 47,53%.

Работа имеет практическую значимость, поскольку ее результаты свидетельствуют о высокой эффективности использования кормовой добавки на основе модифицированного цеолита, обогащенного пробиотиком *Pediococcus acidilactici* и биокомпонентами при выращивании радужной форели.

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 счёт средств, выделяемых по заданию Министерства сельского хозяйства РФ в 2025 г., рег. № 125110612621-8, по теме «Разработка и оценка эффективности новых пробиотических кормовых добавок векторного действия для скотоводства, птицеводства и рыбоводства на основе кремнийсодержащих пород»

FUNDING

The study was carried out using funds allocated for the task of the Ministry of Agriculture of the RF for 2025, registration number 125110612621-8, on the topic «Development and Evaluation of the Effectiveness of New Vector-Action Probiotic Feed Additives for Cattle, Poultry, and Fish Farming Based on Silicon-Containing Rocks»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жигин А.В., Сытова М.В., Есавкин Ю.И. Аквакультура как источник функциональных продуктов питания. *Известия ТИНРО*. 2021; 201(4): 910–922. EDN QFPDSZ
2. Климук А.А., Головачева Н.А., Царьков М.Д., Семеряков Ю.В., Шкель А.А. Изменения гидрохимических параметров водной среды и биохимических показателей сыворотки крови рыб от плотности посадки в УЗВ. *Рыбное хозяйство*. 2024; (3): 71–79. https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-3-71-79

REFERENCES

1. Zhigin A.V., Sytova M.V., Esavkin Yu.I. Aquaculture as a source of functional food. *Izvestiya TINRO*. 2021; 201(4): 910–922 (in Russian). EDN QFPDSZ
2. Klimuk A.A., Golovacheva N.A., Tsarkov M.D., Semeryakov Yu.V., Shkel A.A. Changes in hydrochemical parameters of the aquatic environment and biochemical parameters of fish blood serum from the planting density in the ultrasound. *Fisheries*. 2024; (3): 71–79 (in Russian). https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-3-71-79

3. Молчанова К.А., Хрусталев Е.И., Серпунин Г.Г., Савина Л.В. Гематологические показатели годовиков радужной форели при выращивании в УЗВ. *Рыбное хозяйство*. 2018; (3): 69–72. EDN XUZTOP

4. Савкина Л. Корма для аквакультуры: импортозамещение закончено – начинается гонка за эффективностью. *Животноводство России.* 2026; (4): 12–15. EDN FMUXCS

5. Шленкина Т.М., Романова Е.М., Романов В.В., Шадыева Л.А. Влияние температуры и плотности посадки на показатели периферической крови африканского клариевого сома в условиях УЗВ. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* 2020; (4): 167–173. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-4-167-173

6. Шленкина Т.М. *и др.* Влияние адаптационного процесса на показатели крови радужной форели. *Научная жизнь*. 2025; 20(2): 558–569. https://doi.org/10.35679/1991-9476-2025-20-2-558-569

7. Любомирова В.Н., Романова Е.М., Романов В.В., Фазилов Э.Б. Влияние абиотических факторов на показатели продуктивности *A. var. Principalis* в аквакультуре. *Рыбное хозяйство.* 2023; (2): 13–17. https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-2-13-17

8. Сибгатуллова А.К. *и др.* Особенности проявления инфекционного некроза гемопоэтической ткани у рыб. *Научная жизнь*. 2024; 19(5): 913–924. https://doi.org/10.35679/1991-9476-2024-19-5-913-924

9. Грикшас С.А., Есавкин Ю.И., Казакова Е.В., Жигин А.В., Бубунец Э.В. Биологические особенности, технология выращивания и переработки рыбы и гидробионтов. Монография. М.; Саратов: *Амирит*. 2023; 154. ISBN 978-5-00207-457-0 EDN FJHQED

10. Толмачев В.А., Арнаутов М.В., Гершунская В.В., Артемов Р.В., Жигин А.В. Переваримость питательных веществ растительных компонентов радужной форелью при выращивании в УЗВ. *Комбикорма*. 2026; (2): 46–51. https://doi.org/10.69539/2413-287X-2026-02-3-262

11. Спирина Е.В., Романова Е.М., Романов В.В., Любомирова В.Н. Регуляция антиоксидантной системы рыб биологически активными кормовыми добавками. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (4): 113–118. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-113-118

12. Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Смородинская С.В., Гаврилин К.В., Гаффарова В.М. Системные патологические нарушения у молоди радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) при заболевании ихтиофтириозом (*Ichthyophthirius multifiliis*). *Аграрная наука*. 2025; (6): 48–59. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-48-59

13. Мирошникова Е.П., Иньшин О.В., Мингазова М.С. Влияние активированного угля и фитобиотика на организм радужной форели. *Рыбное хозяйство.* 2026; (2): 134–142. https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-2-134-142

14. Шадыева Л.А., Романова Е.М., Васильев А.В., Ахметова В.В. Результативность использования пробиотика «Акваспорин» для хищных и травоядных видов рыб в индустриальной аквакультуре. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023; (4): 163–169. EDN JPUMEH

15. Есавкин Ю.И., Жигин А.В., Максименкова А.А., Грикшас С.А., Павлов А.Д. Использование кормовой добавки «Энзимспорин» при выращивании двухлетков радужной форели. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2023; 17(1): 53–66. https://doi.org/10.33920/sel-09-2301-05

16. Рудой Д.В., Ольшевская А.В., Шевченко В.Н., Мальцева Т.А., Козырев Д.А., Мазанко М.С. Влияние пробиотиков в составе корма на рыбоводно-биологические показатели форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) в период раннего онтогенеза. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2025; 17(6-2): 48–65. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1534

17. Жигин А.В., Сытова М.В., Есавкин Ю.И., Грикшас С.А., Петров А.С. Влияние кормовой добавки «Кормоген селен-3» на рыбоводные, морфометрические показатели и товарные качества радужной форели. *Вопросы рыболовства*. 2023; 24(2): 154–172. EDN GXZNJJ

18. Любомирова В.Н., Романова Е.М., Романов В.В., Любомирова Е.С. Показатели эффективности кормовой добавки «Правад» при выращивании русского осетра в индустриальной аквакультуре. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* 2024; (4): 145–150. EDN CYGDXX

19. Свешникова Е.В., Романова Е.М., Романов В.В., Васильев А. В. Исследование размерных и весовых характеристик форели при использовании кормовой добавки «Акваспорин». *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* 2023; (4): 149–155. EDN EQLIRX

20. Феоктистова Н.А., Дежаткина С.В. Разработка биокомпозиции как компонента биопрепарата для коррекции микроэкологии желудочно-кишечного тракта продуктивных животных и птицы. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* 2023; (2): 122–128. EDN AHEVKC

21. Дежаткина С.В., Феоктистова Н.А., Салмина Е.С., Дежаткин И.М., Фёдоров А.В. Биодобавки векторного действия на основе обогащённых кремнийсодержащих минералов в животноводстве. *Аграрный вестник Верхневолжья.* 2025; (1): 42–48. EDN RVTSSK

22. Vila-Donat P., Marín S., Sanchis V., Ramos A.J. A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and Chemical Toxicology*. 2018; 114: 246–259. https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044

23. Шеховцов Д.С., Есавкин Ю.И., Грикшас С.А., Казакова Е.В. Эффективность выращивания радужной форели при включении в корма комплекса абиопептида и кобальта. *Аграрная наука*. 2019; (2): 39–41. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-322-2-39-41

24. Текебаева Ж.Б. *и др.* Пробиотики и их применение в аквакультуре. *Новости науки Казахстана.* 2020; (4): 170–185. EDN QSYHOX

25. Araújo C. *et al.* Characterization of *Pediococcus acidilactici* strains isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed and larvae: safety, DNA fingerprinting, and bacteriocinogenicity. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2016; 119: 129–143. https://doi.org/10.3354/dao02992

26. Liu C., Zhao L.-P., Shen Y.-Q. A systematic review of advances in intestinal microflora of fish. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021; 47(6): 2041–2053. https://doi.org/10.1007/s10695-021-01027-3

27. Zhao S. *et al. Bacillus coagulans* 13002 and fructo-oligosaccharides improve the immunity of mice with immunosuppression induced by cyclophosphamide through modulating intestinal-derived and fecal microbiota. *Food Research International*. 2021; 140: 109793. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109793

28. Hasan I., Rimoldi S., Saroglia G., Terova G. Sustainable Fish Feeds with Insects and Probiotics Positively Affect Freshwater and Marine Fish Gut Microbiota. *Animals*. 2023; 13(10): 1633. https://doi.org/10.3390/ani1310163

3. Molchanova K.A., Khrustalyov E.I., Serpunin G.G., Savina L.V. Hematological parameters of rainbow trout yearlings when bred in closed recycling water system. *Fisheries*. 2018; (3): 69–72 (in Russian). EDN XUZTOP

4. Savkina L. Feed for aquaculture: import substitution is finished - the race for efficiency begins. *Animal Husbandry of Russia*. 2026; (4): 12–15 (in Russian). EDN FMUXCS

5. Shlenkina T.M., Romanova E.M., Romanov V.V., Shadyeva L.A. Influence of temperature and planting density on peripheral blood parameters of the African sharptooth catfish in the conditions of RAS. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020; (4): 67–73 (in Russian). https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-4-167-173

6. Shlenkina T.M. *et al.* Influence of the adaptation process on blood indicators of rainbow trout. *Scientific Life*. 2025; 20(2): 558–569 (in Russian). https://doi.org/10.35679/1991-9476-2025-20-2-558-569

7. Lyubomirova V.N., Romanova E.M., Romanov V.V., Fazilov E.B. The influence of abiotic factors on the productivity indicators of *A. var. Principalis* in aquaculture. *Fisheries*. 2023; (2): 13–17 (in Russian). https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-2-13-17

8. Sibgatullova A.K. *et al.* Features of the manifestation of infectious necrosis of hematopoietic tissue in fish. *Scientific Life*. 2024; 19(5): 913–924 (in Russian). https://doi.org/10.35679/1991-9476-2024-19-5-913-924

9. Grikshas S.A., Yesavkin Yu.I., Kazakova Ye.V., Zhigin A.V., Bubunets E.V. Biological features, technology of cultivation and processing of fish and hydrobiont. Monograph. 2023. Moscow; Saratov: *Amirit*. 2023; 154 (in Russian). ISBN 978-5-00207-457-0 EDN FJHQED

10. Tolmachev V.A., Arnautov M.V., Gershunskaya V.V., Artemov R.V., Zhigin A.V. Digestibility of plant-based nutrients by rainbow trout in growing in the RAS. *Compound feeds*. 2026; (2): 46–51 (in Russian). https://doi.org/10.69539/2413-287X-2026-02-3-262

11. Spirina E.V., Romanova E.M., Romanov V.V., Lyubomirova V.N. Regulation of fish antioxidant system with biologically active feed additives. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; (4): 113–118 (in Russian). https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-113-118

12. Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Smorodinskaya S.V., Gavrilin K.V., Gaffarova V.M. Systemic Pathological Disorders in Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) During Ichthyophthiriosis (*Ichthyophthirius multifiliis*) Infestation. *Agrarian science*. 2025; (6): 48–59 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-48-59

13. Miroshnikova E.P., Inshin O.V., Mingazova M.S. The effect of activated carbon and phytobiotics on the body of rainbow trout. *Fisheries*. 2026; (2): 134–142 (in Russian). https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-2-134-142

14. Shadyeva L.A., Romanova E.M., Vasiliev A.V., Akhmetova V.V. The application effectiveness of "Aquasporin" probiotic for predatory and herbivorous fish species in industrial aquaculture. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; (4): 163–169 (in Russian). EDN JPUMEH

15. Yesavkin Yu.I., Zhigin A.V., Maksimenkova A.A., Grikshas S.A., Pavlov A.D. Use of feed additive "Enzimsporin" in second year rainbow trout growing. *Fish breeding and fisheries*. 2023; 17(1): 53–66 (in Russian). https://doi.org/10.33920/sel-09-2301-05

16. Rudoy D.V., Olshevskaya A.V., Shevchenko V.N., Maltseva T.A., Kozyrev D.A., Mazanko M.S. The effect of probioticenriched feed on aquaculturebiological parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) during early ontogeny. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2025; 17(6-2): 48–65 (in Russian). https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1534

17. Zhigin A.V., Sytova M.V., Esavkin Yu.I., Grikshas S.A., Petrov A.S. The effect of the feed additive "Kormogran selen-3" on fish breeding, morphometric indicators and marketable qualities of rainbow trout. *Problems of fisheries*. 2023; 24(2): 154–172 (in Russian). EDN GXZNJJ

18. Lyubomirova V.N., Romanova E.M., Romanov V.V., Lyubomirova E.S. Efficiency parameters of the feed additive "Pravad" in rearing Russian sturgeon in industrial aquaculture. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024; (4): 145–150 (in Russian). EDN CYGDXX

19. Sveshnikova E.V., Romanova E.M., Romanov V.V., Vasiliev A.V. Study of the size and weight characteristics of trout when applying "Aquasporin" feed additive. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; (4): 149–155 (in Russian). EDN EQLIRX

20. Feoktistova N.A., Dezhatkina S.V. Development of a biocomposition as a component of a biological product for correction of the microecology of the gastrointestinal tract of productive animals and poultry. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; (2): 122–128 (in Russian). EDN AHEVKC

21. Dezhatkina S.V., Feoktistova N.A., Salmina E.S., Dezhatkin I.M., Fedorov A.V. Vector-acting biodifferentials based on enriched silicon-containing minerals in animal husbandry. *Agrarian journal of Upper Volga region*. 2025; (1): 42–48 (in Russian). EDN RVTSSK

22. Vila-Donat P., Marín S., Sanchis V., Ramos A.J. A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and Chemical Toxicology*. 2018; 114: 246–259. https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044

23. Shekhovtsov D.S., Esavkin Yu.I., Grikshas S.A., Kazakova E.V. Cultivation of rainbow trout on feed with abiepeptid and cobalt additives. *Agrarian science*. 2019; (2): 39–41 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-322-2-39-41

24. Tekebayeva Zh.B. *et al.* Probiotics and their application in aquaculture. *Science News of Kazakhstan*. 2020; (4): 170–185 (in Russian). EDN QSYHOX

25. Araújo C. *et al.* Characterization of *Pediococcus acidilactici* strains isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed and larvae: safety, DNA fingerprinting, and bacteriocinogenicity. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2016; 119: 129–143. https://doi.org/10.3354/dao02992

26. Liu C., Zhao L.-P., Shen Y.-Q. A systematic review of advances in intestinal microflora of fish. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021; 47(6): 2041–2053. https://doi.org/10.1007/s10695-021-01027-3

27. Zhao S. *et al. Bacillus coagulans* 13002 and fructo-oligosaccharides improve the immunity of mice with immunosuppression induced by cyclophosphamide through modulating intestinal-derived and fecal microbiota. *Food Research International*. 2021; 140: 109793. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109793

28. Hasan I., Rimoldi S., Saroglia G., Terova G. Sustainable Fish Feeds with Insects and Probiotics Positively Affect Freshwater and Marine Fish Gut Microbiota. *Animals*. 2023; 13(10): 1633. https://doi.org/10.3390/ani1310163

29. Martinez M.P., Gonzalez Pereyra M.L., Pena G.A., Poloni V., Fernandez Juri G., Cavaglieri L.R. *Pediococcus acidolactici* and *Pediococcus pentosaceus* isolated from a rainbow trout ecosystem have probiotic and ABF1 adsorbing/degrading abilities *in vitro*. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2017; 34(12): 2118–2130. https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1371854
30. Stagaman K., Sharpton T.J., Guillemin K. Zebrafish microbiome studies make waves. *Lab Animal*. 2020; 49(7): 201–207. https://doi.org/10.1038/s41684-020-0573-6
31. Soto-Dávila M., Langlois Fiorotto L., Heath J.W., Lumsden J.S., Reid G., Dixon B. The effects of *Pediococcus acidilactici* MA18/5M on growth performance, gut integrity, and immune response using *in vitro* and *in vivo* Pacific salmonid models. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1306458. https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1306458
32. Al-Hisnawi A. *et al.* Dietary probiotic *Pediococcus acidilactici* MA18/5M modulates the intestinal microbiota and stimulates intestinal immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2019; 50(6): 1133–1151. https://doi.org/10.1111/jwas.12642
33. Sui L. *et al. In vitro* assessment of probiotic and functional properties of *Bacillus coagulans* T242. *Food Bioscience*. 2020; 36: 100675. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100675
34. Wuertz S., Schroeder A., Wanka K.M. Probiotics in Fish Nutrition—Long-Standing Household Remedy or Native Nutraceuticals?. *Water*. 2021; 13(10): 1348. https://doi.org/10.3390/w13101348
35. Kantserova N., Borvinskaya E., Lysenko L., Sukhovskaya I., Churova M., Tushina E. Dataset on body weight and length of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed with dihydroquercetin, arabinogalactan or a mixture of both in an aquaria experiment. *Data in Brief*. 2020; 32: 106184. https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106184
36. Krejszeff S. *et al.* Procedure for Harmless Estimation of Fish Larvae Weight. *Italian Journal of Animal Science*. 2013; 12(2): e44. https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e44
37. Zhang Z., Liu H., Jin J., Zhu X., Han D., Xie S. Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. *Water Biology and Security*. 2024; 3(4): 100290. https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290
38. Osman H.A.M., El-Mohsen A., Mohamed H., Noor El-Deen A.E., El-Refaey A.M.E. Studies on Anguillicoliasis in cultured *Anguilla anguilla* fish farms in Delta region, Egypt with special reference to hematological, biochemical changes and treatment. *Researcher*. 2012; 4(11): 77–83.

29. Martinez M.P., Gonzalez Pereyra M.L., Pena G.A., Poloni V., Fernandez Juri G., Cavaglieri L.R. *Pediococcus acidolactici* and *Pediococcus pentosaceus* isolated from a rainbow trout ecosystem have probiotic and ABF1 adsorbing/degrading abilities *in vitro*. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2017; 34(12): 2118–2130. https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1371854
30. Stagaman K., Sharpton T.J., Guillemin K. Zebrafish microbiome studies make waves. *Lab Animal*. 2020; 49(7): 201–207. https://doi.org/10.1038/s41684-020-0573-6
31. Soto-Dávila M., Langlois Fiorotto L., Heath J.W., Lumsden J.S., Reid G., Dixon B. The effects of *Pediococcus acidilactici* MA18/5M on growth performance, gut integrity, and immune response using *in vitro* and *in vivo* Pacific salmonid models. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1306458. https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1306458
32. Al-Hisnawi A. *et al.* Dietary probiotic *Pediococcus acidilactici* MA18/5M modulates the intestinal microbiota and stimulates intestinal immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2019; 50(6): 1133–1151. https://doi.org/10.1111/jwas.12642
33. Sui L. *et al. In vitro* assessment of probiotic and functional properties of *Bacillus coagulans* T242. *Food Bioscience*. 2020; 36: 100675. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100675
34. Wuertz S., Schroeder A., Wanka K.M. Probiotics in Fish Nutrition—Long-Standing Household Remedy or Native Nutraceuticals?. *Water*. 2021; 13(10): 1348. https://doi.org/10.3390/w13101348
35. Kantserova N., Borvinskaya E., Lysenko L., Sukhovskaya I., Churova M., Tushina E. Dataset on body weight and length of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed with dihydroquercetin, arabinogalactan or a mixture of both in an aquaria experiment. *Data in Brief*. 2020; 32: 106184. https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106184
36. Krejszeff S. *et al.* Procedure for Harmless Estimation of Fish Larvae Weight. *Italian Journal of Animal Science*. 2013; 12(2): e44. https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e44
37. Zhang Z., Liu H., Jin J., Zhu X. Han, D., Xie S. Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. *Water Biology and Security*. 2024; 3(4): 100290. https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290
38. Osman H.A.M., El-Mohsen A., Mohamed H., Noor El-Deen A.E., El-Refaey A.M.E. Studies on Anguillicoliasis in cultured *Anguilla anguilla* fish farms in Delta region, Egypt with special reference to hematological, biochemical changes and treatment. *Researcher*. 2012; 4(11): 77–83.

ОБ АВТОРАХ

Илья Викторович Соколов
аспирант
sokolov25ilya@yandex.ru

Светлана Васильевна Дежаткина
доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой морфологии и физиологии, кормления, разведения и частной зоотехнии
dsw1710@yandex.ru

Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина,
бульвар Новый Венец, д. 1, Ульяновск 4324017, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Ilya Viktorovich Sokolov
Postgraduate Student
sokolov25ilya@yandex.ru

Svetlana Vasilievna Dezhatkina
Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Morphology and Physiology, Feeding, Breeding, and Private Animal Husbandry
dsw1710@yandex.ru

Ulyanovsk State Agricultural University, named after P.A. Stolypin,
1 Novy Venets Boulevard, Ulyanovsk, 4324017, Russia

УДК 636.2

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-79-87

А.С. Горелик[1]

О.В. Горелик[2] ✉

М.Б. Ребезов[2,3]

С.Ю. Харлап[2]

Н.А. Эйриян[2]

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

[2]Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

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

✉ *olgao205en@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 01.02.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

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

Параметры возраста и живой массы при первом осеменении голштинских телок в зависимости от сезона рождения

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Эффективность выращивания ремонтного молодняка, определяемая возрастом и живой массой при первом осеменении, является ключевым фактором рентабельности молочного скотоводства. Сезон рождения, как паратипический фактор, может существенно влиять на динамику роста и развития телок, однако его влияние в условиях интенсивной технологии Среднего Урала изучено недостаточно.

Методы. Исследование проведено в племенном репродукторе Свердловской области на телках голштинской породы (n=148). Животные были разделены на 4 группы в зависимости от сезона рождения (зима, весна, лето, осень). Методом ежемесячного индивидуального взвешивания с рождения до 18 месяцев контролировали весовой рост. Рассчитывали абсолютный, среднесуточный и относительный приросты. Фиксировали возраст и живую массу при первом и первом плодотворном осеменении. Данные обработаны биометрически с оценкой достоверности различий.

Результаты. Установлено, что все телки достигли рекомендуемой живой массы для осеменения (>370 кг). Выявлены достоверные (p≤0,05–0,01) межгрупповые различия по возрасту первого осеменения. Телки осеннего сезона рождения были осеменены в среднем в 14,5 месяцев, что на 0,8–1,1 месяца раньше, чем телки других групп. При этом живая масса при осеменении у них была сопоставима (380,6 кг). Наибольший абсолютный и среднесуточный прирост отмечен у телок зимнего и осеннего сезонов рождения.

Сезон рождения является значимым фактором, влияющим на скорость достижения ремонтными телками оптимальных для осеменения кондиций. Телки осеннего отела, благодаря лучшим стартовым условиям и высокой интенсивности роста в первый год жизни, демонстрируют потенциал для более раннего (в 14,5 мес.) ввода в основное стадо без ущерба для живой массы. Результаты позволяют оптимизировать сезонную структуру отелов и технологию выращивания молодняка для сокращения непродуктивного периода и снижения затрат.

Ключевые слова: ремонтные телки, голштинская порода, сезон рождения, возраст первого осеменения, живая масса, интенсивность роста

Для цитирования: Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Эйриян Н.А. Параметры возраста и живой массы при первом осеменении голштинских телок в зависимости от сезона рождения. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 79–87. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-79-87

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-79-87

Artem S. Gorelik[1]

Olga V. Gorelik[2] ✉

Maksim B. Rebezov[2, 3]

Svetlana Yu. Kharlap[2]

Nikolay A. Eyriyan[2]

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

[2]Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

[3]Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ *olgao205en@yandex.ru*

Received by the editorial office: 01.02.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

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

Age and body weight parameters at the first insemination of Holstein heifers, depending on the birth season

ABSTRACT

Relevance. The efficiency of rearing replacement young stock, determined by age and body weight at first insemination, is a key factor in the profitability of dairy farming. The birth season as a paratypical factor can significantly affect the dynamics of growth and development of heifers, but its influence under the intensive technology conditions of the Middle Urals has been insufficiently studied.

Methods. The study was conducted at a breeding farm in the Sverdlovsk region on Holstein heifers (n=148). The animals were divided into 4 groups depending on the birth season (winter, spring, summer, autumn). Weight growth was monitored by monthly individual weighing from birth to 18 months. Absolute, average daily, and relative gains were calculated. Age and body weight at first and first fruitful insemination were recorded. The data were processed biometrically with an assessment of the reliability of the differences.

Results. It was found that all heifers reached the recommended body weight for insemination (>370 kg). Reliable (p≤0.05–0.01) intergroup differences in the age of first insemination were revealed. Heifers of the autumn birth season were inseminated on average at 14.5 months, which is 0.8–1.1 months earlier than heifers of other groups. At the same time, their body weight at insemination was comparable (380.6 kg). The highest absolute and average daily gains were observed in heifers born in winter and autumn.

The birth season is a significant factor influencing the rate at which replacement heifers reach optimal breeding conditions. Heifers from autumn calving, due to better starting conditions and high growth intensity in the first year of life, demonstrate the potential for earlier (at 14.5 months) introduction into the main herd without compromising body weight. The results allow optimizing the seasonal calving structure and young stock rearing technology to reduce the unproductive period and lower costs.

Key words: Repair heifers, weight height, age of first insemination, season of the year, growth indicators

For citation: Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Eyrian N.A. Age and body weight parameters at the first insemination of Holstein heifers, depending on the birth season. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 79–87 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-79-87

Введение/Introduction

Увеличение производства сельскохозяйственной продукции в целом и животноводства в частности — решение продовольственной проблемы в части обеспечения населения страны полноценными продуктами питания собственного производства. Особую роль при этом отводят развитию молочного скотоводства, как отрасли, от которой получают ценные продукты питания и сырье для перерабатывающей и пищевой промышленности — молоко и говядину [1–3]. Получают их в основном от крупного рогатого скота молочных пород, отечественных и зарубежных. Основное поголовье коров принадлежит к лучшей мировой голштинской и отечественной черно-пестрой породам [4–6]. Более четырех десятилетий в Российской Федерации с целью повышения обильномолочности отечественного черно-пестрого скота проводилось его совершенствование по продуктивным и технологическим признакам путем скрещивания маточного поголовья черно-пестрой породы с быками-производителями голштинской породы. Это привело к созданию новых высокопродуктивных породных типов в отечественной черно-пестрой породе, которые отличаются между собой по хозяйственно-полезным качествам, что связано с природно-климатическими условиями и породными ресурсами крупного рогатого скота зоны разведения [7–10].

Современный молочный черно-пестрый скот — это крупные животные, характеризующиеся высокими удоями с устойчивой лактационной деятельностью, хорошей пригодностью к промышленной технологии производства молока. Повышение продуктивности привело к снижению воспроизводительной способности и сокращению количества новорожденного молодняка и, как следствие, к недополучению ремонтных телок для обновления стада. Все это ставит вопросы воспроизводства стада и выращивания ремонтного молодняка на первое место [4, 11–13]. Быстрое выбытие животных из стада, снижение количества новорожденного молодняка, скрытое проявление физиологических проявлений способности к воспроизводству, а значит, низкое выявление коров в охоте приводит к снижению поголовья молочного скота, производства молока и говядины в целом по стране и повышению их себестоимости. Главная задача при воспроизводстве стада — ежегодное получение от каждой коровы жизнеспособного теленка [14–16]. Одним из путей повышения продуктивности молочного стада является ввод в стадо животных, обладающих высоким потенциалом продуктивности и хорошим здоровьем, что, в свою очередь, зависит от организации направленного выращивания ремонтного молодняка[1] [17].

Считается, что осеменение телок в возрасте 15–18 мес., как правило, способствует формированию животных крепкой конституции, приспособленных к длительному использованию, обладающих лучшей оплодотворяемостью и сравнительно коротким сервис-периодом [18, 19]. Однако нарушения в кормлении, разные системы выращивания ремонтного молодняка часто приводят к тому, что эти сроки не выдерживаются. Кроме того, изменение генотипа животных (увеличение кровности по голштинской породе) также приводит к тому, что необходимо разработать новые требования к выращиванию ремонтного молодняка и показателям использования его для первого осеменения [17, 20, 21].

Кроме того, при повышении продуктивности животных путем улучшения их племенных качеств следует учитывать наряду с генотипом животных и другие многочисленные факторы — фено- и паратипические, такие как возраст матерей, сезон года рождения, живая масса и возраст телок при осеменении и т.д. Причем данных по изучению этих факторов в литературе мало, они разрозненны и не дают общего представления о выборе телочек для дальнейшего выращивания и использования [22–24].

Изучение этих и других аспектов, влияющих на продуктивные и воспроизводительные качества животных, актуально и имеет большое народнохозяйственное значение.

Ряд исследований подтверждают значимость генетических и паратипических факторов в формировании продуктивных качеств голштинского скота, однако влияние сезона рождения на возраст первого осеменения изучено недостаточно [25, 26].

Целью работы явилось изучение особенностей весового роста ремонтных телок разных сезонов рождения.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводились в условиях одного из типичных для Свердловской области племенных репродукторов по разведению голштинского черно-пестрого скота.

Объектом исследования являлись голштинского телки черно-пестрой породы, разводимые в зоне Среднего Урала, которые содержались при оптимальных условиях кормления и содержания в соответствии с зоотехническими и зоогигиеническими требованиями.

Схемы кормления телок и кормовые рационы составлялись с учетом норм кормления из кормов собственного производства. Условия содержания, основной рацион, режим и фронт кормления и поения, параметры микроклимата для всех

[1]Н.Г. Первов *и др.* Рекомендации по кормлению ремонтных телок при выращивании высокопродуктивных молочных коров. Дубровицы: Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л.К. Эрнста, 2017; 96 с.

групп были одинаковыми и соответствовали зоогигиеническим нормам[2].

В исследовании участвовали ремонтные телки конца 2022 и 2023 годов рождения.

Использовались данные племенного и зоотехнического учета Информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС» — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах»[3] (Россия).

Было выделено 4 группы телок в зависимости от сезона рождения не менее, чем по 25 голов в каждой.

Весовой рост определяли по изменению живой массы от рождения до 18-месячного возраста путем ежемесячного индивидуального взвешивания[4], а также сразу после осеменения, после первого отела.

Рассчитывали абсолютный, среднесуточный и относительный прирост живой массы по периодам: 0–6, 6–9, 9–12, 12–15, 15–18 месяцев и далее до достижения ими требуемой живой массы.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, использующихся для научных целей[5], и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ[6].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Важным показателем при выращивании ремонтного молодняка является возраст и живая масса телок при первом осеменении. В настоящее время на первое место при определении готовности телок к первому осеменению вышли показатели живой массы, которые должны составлять 60–70% от живой массы полновозрастной коровы.

Полновозрастная корова голштинской породы, которая в настоящее время используется в хозяйствах Свердловской области, составляет 620–650 кг, то есть масса телок перед осеменением не может быть менее 370 кг, что и достигается в данном хозяйстве в возрасте 14,5–15,5 месяцев (табл. 1).

Все телки независимо от сезона года при первом осеменении отвечали требуемым параметрам по живой массе. По возрасту первого осеменения отмечаются достоверные различия в пользу телок, рожденных в осенний период. Они достоверно при $p \leq 0,05$ — $p \leq 0,01$ имели более низкие показатели возраста — 14,5 месяцев, что меньше, чем в других группах на 0,8-1,1 месяца или на 5,5-7,6%.

Живая масса при плодотворном осеменении была несколько выше, чем при первом осеменении на 2,4 (осень)-17,1 кг (лето), возраст также оказался несколько выше на 0,1-0,5 месяца. Возможно, одним из факторов являются стрессовые ситуации при первом осеменении, которые повлияли на плодотворность первого искусственного осеменения.

Для наглядности сопряженности живой массы и возраста при первом осеменении с живой массой и возрастом плодотворного осеменения телок была построена диаграмма (рис. 1).

На рисунке хорошо видно, что разница была незначительная и недостоверная. В зависимости от сезона рождения, разница по живой массе при первом и первом плодотворном осеменении составляла от 2,4 кг (осень) до 17,1 кг (лето); по

Таблица 1. **Возраст и живая масса телок при первом и первом плодотворном осеменении**

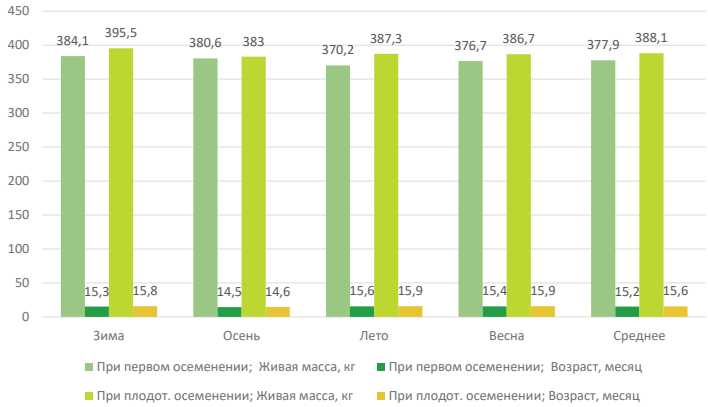
Table 1. **Age and live weight of heifers at the first and first fruitful insemination**

Сезон	голов	При первом осеменении		При плодот. осеменении		Балл за экстерьер
		Живая масса, кг	Возраст, мес.	Живая масса, кг	Возраст, мес.	
Зима	55	384,1 ± 2,43	15,3 ± 0,2*	395,5 ± 1,32	15,8 ± 0,3	4,6 ± 0,3
Осень	48	380,6 ± 3,97	14,5 ± 0,4	383,0 ± 3,87	14,6 ± 0,4	4,5 ± 0,3
Лето	29	370,2 ± 2,32	15,6 ± 0,3**	387,3 ± 2,29	15,9 ± 0,1	4,4 ± 0,2
Весна	16	376,7 ± 2,67	15,4 ± 0,1*	386,7 ± 2,67	15,9 ± 0,1	4,4 ± 0,2
Среднее	148	377,9 ± 1,94	15,2 ± 0,2	388,1 ± 1,98	15,6 ± 0,2	4,5 ± 0,3

Примечание: * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; **** — $p \leq 0,001$

Рис. 1. Живая масса и возраст телок при первом и плодотворном осеменении

Fig. 1. Live weight and age of heifers at the first and fruitful insemination



[2]Морозова Н.И. *и. др.* Молочная продуктивность голштинских коров при круглогодовом стойловом содержании (монография). Рязань, 2013.

[3]ИАС «СЕЛЭКС» — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах внесена в Единый реестр российского программного обеспечения. Реестровая запись № 1927 от 23.09.2016

[4]Весовое хозяйство, используемое в исследованиях, проверено с помощью контрольных гирь

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

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

возрасту первого и первого плодотворного осеменения — от 0,1 (осень) до 0,5 месяцев (зима и весна). Такая разница объясняется температурно-влажностным режимом сезона года. Чем выше или ниже температура воздуха и разница между дневными и ночными температурами, тем выше разница по живой массе и возрасту первого и плодотворного осеменения.

Наиболее наглядно видны эти различия на рисунках 2 и 3.

На рисунке 2 представлены данные о возрасте первого и плодотворного осеменения и разнице между ними, которая, как было сказано ранее, составила от 0,1 до 0,5 месяца или от 3 до 15 дней.

На рисунке 3 представлены данные о живой массе при первом и плодотворном осеменении телок и разнице между данными показателями.

Разница по живой массе в группах телок разного сезона рождения оказалась на 0,6–4,9%. Несмотря на то, что недостоверно имеется тенденция по повышению оплодотворяемости при повышении живой массы.

Был рассчитан абсолютный прирост живой массы телок за период от рождения и до достижения необходимой для осеменения массы (рис. 4).

Больше всего абсолютного прироста живой массы было получено по группе телок, рожденных в зимний период года, а самые низкие показатели оказались в группе телок, рожденных осенью. Однако последние быстрее были готовы к первому осеменению, что объясняется, прежде всего, более высокой живой массой при рождении, лучшей интенсивностью роста и лучшей жизнеспособностью за счет того, что находились в плодном периоде развития при лучших условиях кормления и содержания в летний период.

Данное утверждение подтверждают данные о среднесуточных приростах живой массы за период достижения необходимой живой массы для первого и плодотворного осеменений (рис. 5).

Наиболее высокие среднесуточные приросты живой массы оказались в группе телок осеннего сезона рождения, на втором были телки, рожденные в зимний период года.

Рис. 2. Возраст первого и плодотворного осеменения, месяц
Fig. 2. The age of the first and fruitful insemination, month

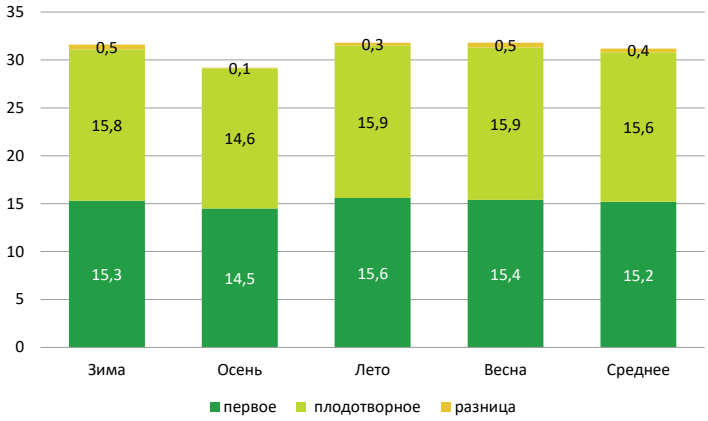


Рис. 3. Живая масса телок при первом и плодотворном осеменении, кг
Fig. 3. Live weight of heifers at the first and fruitful insemination, kg

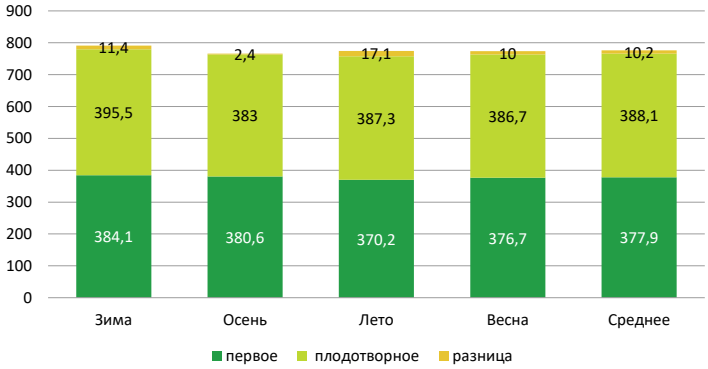


Рис. 4. Абсолютный прирост живой массы, кг
Fig. 4. Absolute increase in body weight, kg

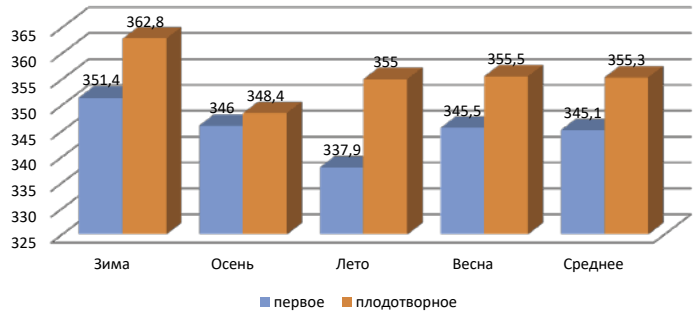
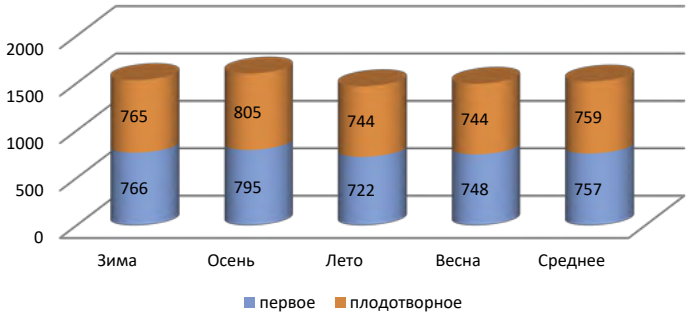


Рис. 5. Среднесуточный прирост живой массы телок, г
Fig. 5. Average daily increase in live weight of heifers, g



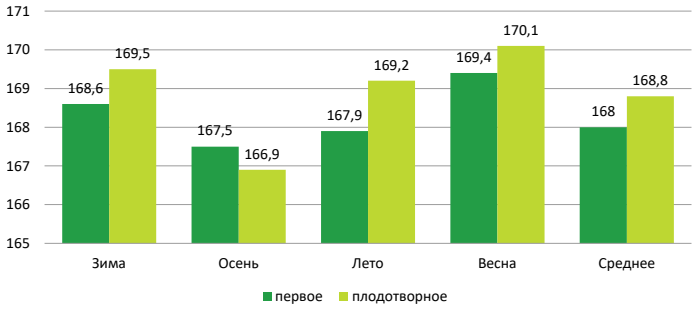
Средние по всем группам показатели среднесуточных приростов были 757–759 г. Наиболее низкими они были у телок, родившихся летом, но за счет более длительного роста до достижения ими необходимой живой массы они также достигали показателей. Несколько быстрее их росли телки, рожденные весной.

Относительный прирост показывает интенсивность роста телок за период от рождения и по периодам роста и в целом за весь цикл выращивания. Был рассчитан оптимальный прирост за

период от рождения до достижения необходимой живой массы для проведения первого и плодотворного осеменения (рис. 6).

Телки данной группы по интенсивности роста превосходили телок других сезонов рождения, имея самые низкие показатели при рождении. Они не только достигали необходимых параметров, но и более продолжительно сохраняли высокие показатели интенсивности роста. Более низкими они оказался в группе телок осеннего сезона рождения и были ниже, чем у весенних на 3,2%. Остальные 2 группы занимали промежуточное место с практически одинаковыми показателями по относительной скорости роста.

Рис. 6. Оптимальный прирост живой массы, %
Fig. 6. Optimal weight gain, %



Таким образом, анализ возрастных и весовых параметров при первом осеменении показывает, что телки осеннего сезона рождения имеют преимущество по скорости достижения репродуктивной готовности. Полученные данные (14,5 мес.) согласуются с результатами Грибко *и др.* [27], которые также отмечали ускоренное созревание телок данного сезона рождения. Это позволяет рассматривать сезон рождения как один из ключевых паратипических факторов, влияющих на эффективность выращивания ремонтного молодняка в условиях Среднего Урала.

Выводы/Conclusion

Установлено достоверное влияние сезона рождения на скорость онтогенеза ремонтных телок голштинской породы в условиях Среднего Урала.

Научная значимость заключается в количественном подтверждении гипотезы о преимуществе осеннего сезона отела, который обеспечивает более раннее достижение целевой живой массы (370 кг) к 14,5-месячному возрасту, что на 5,5–7,6% опережает показатели телок других сезонов рождения. Это расширяет представления о роли паратипических факторов в формировании продуктивного долголетия высокопродуктивного скота.

Ключевым зоотехническим параметром, лимитирующим срок первого осеменения, является не абсолютный прирост, а комплекс факторов, включая живую массу при рождении и интенсивность роста на ранних этапах онтогенеза.

Практическая значимость заключается в разработке конкретной рекомендации: для ускоренного оборота стада и снижения затрат на выращивание целесообразно смещать плановые отелы коров на осенний период. Это позволит получать ремонтный молодняк с оптимальными стартовыми условиями для реализации интенсивной технологии выращивания.

Подтверждена эффективность применяемой в хозяйстве интенсивной технологии выращивания, позволяющей всем телкам, независимо от сезона рождения, достигать необходимых кондиций к возрасту 15,2 ± 0,2 месяцев.

Рекомендация для производства: для максимизации экономического эффекта при сохранении существующей системы кормления и содержания необходимо внедрение дифференцированного графика осеменения, учитывающего сезон рождения, что обеспечит более ранний ввод в основное стадо части поголовья («осенние» телки) без снижения требований к их развитию.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование является поисковым и выполнено в рамках научных исследований Уральского государственного аграрного университета номер государственной регистрации AAAA-A19-1191014000069.

FUNDING

The research is exploratory and was carried out within the framework of scientific research of the Ural State Agrarian University state registration number AAAA19-1191014000069.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строев В.В., Магомедов М.Д., Алексейчева Е.Ю. Повышение производства и потребления молочных продуктов в России и продовольственная безопасность. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2023; 13(6А): 368–380. EDN FKHUW

2. Herbut P., Angrecka S. Forming of temperature-humidity index (THI) and milk production of cows in the free-stall barn during the period of summer heat. *Animal Science Papers and Reports*. 2012; 30(4): 363–372.

3. Обливанцов В.В. Продуктивные и селекционно-генетические особенности голштинского черно-пестрого скота Крыма. *Повышение производства продукции животноводства на современном этапе. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию кафедры частного животноводства*. Витебск: ВГАВМ. 2022; 45–48. EDN VFCLLG

REFERENCES

1. Stroev V.V., Magomedov M.D., Alekseicheva E.Yu. Increasing the production and consumption of dairy products in Russia and food security. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*. 2023; 13(6A): 368–380 (in Russian). EDN FKHUW

2. Herbut P., Angrecka S. Forming of temperature-humidity index (THI) and milk production of cows in the free-stall barn during the period of summer heat. *Animal Science Papers and Reports*. 2012; 30(4): 363–372.

3. Oblivantsov V.V. Productive and selection-genetic features of Holstein Black-and-White cattle of Crimea. *Increasing the production of livestock products at the present stage. Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the Department of Private Livestock Breeding*. Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2022; 45–48 (in Russian). EDN VFCLLG

4. Гридина С.Л., Гридин В.Ф., Сидорова Д.В., Новицкая К.В. Сравнительный уровень голштинизации на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы. *Достижения науки и техники АПК*. 2018; 32(8): 60–61. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10816

5. Артемов Е.С., Стрибунова А.А., Светличная А.Ю. Скотоводство России — современные аспекты и перспективы. *Технологии и экспертиза сельскохозяйственной продукции.* 2025; (2): 63–74. EDN EESIMA

6. Соловьева О.И., Крестьянинова Е.И., Халикова Т.Ю. Продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы разного происхождения. *Главный зоотехник*. 2020; (12): 24–33. https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03

7. Горелик О.В., Ребезов М.Б., Долматова И.А. Молочная продуктивность коров уральского типа голштинизированного черно-пестрого скота. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Материалы 81-й международной научно-технической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2023; 2: 250. EDN AZJXIC

8. Лоретц О.Г., Горелик О.В., Гафнер В.Д. Влияние происхождения на молочную продуктивность коров. *Аграрный вестник Урала*. 2016; (4): 45–50. EDN VWUUGZ

9. Чеченихина О.С., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Степанов А.В. Возраст выбытия коров из стада в зависимости от генетических и паратипических факторов. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (6): 71–79. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79

10. Пономарева Е.А., Куцанков О.Ю. Генетический потенциал коров-первотелок голштинской породы разной селекции. *Мир инноваций*. 2017; (2): 68–71. EDN ZGWNNF

11. Сафронов С.Л., Костомахин Н.М., Соловьева О.И., Остроухова В.И., Кульмакова Н.И. Молочная продуктивность и долголетие коров в условиях промышленной технологии производства молока. *Селекционные и технологические аспекты интенсификации производства продуктов животноводства. По материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения академика М.Ф. Иванова.* М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2022; 1: 223–227. EDN DRQJGH

12. Дунин И.М., Голубков А.И., Аджибеков К.К., Чекушкин А.М., Лозовая Г.С. Сравнительная оценка быков-производителей красно-пестрой породы крупного рогатого скота по происхождению и качеству потомства методом дочери-сверстницы (Д-С). *Вестник КрасГАУ*. 2015; (9): 212–218. EDN UJKGPJ

13. Сельцов В.И., Молчанова Н.В., Сулима Н.Н. Влияние методов разведения на продуктивное долголетие и пожизненную продуктивность коров. *Зоотехния*. 2013; (9): 2–4. EDN RCLXIN

14. Осипова В.И., Кровикова А.Н. Зависимость репродуктивных качеств коров голштинской породы от уровня их молочной продуктивности. *Современное состояние животноводства и тенденции его развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции*. М.: Академия Принт. 2025; 121–124. EDN OTZJHI

15. Braganholo R.C. *et al.* Age at first calving and productive performance of primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Research*. 2023; 90(4): 353–356. https://doi.org/10.1017/S0022029923000729

16. Гукежев В.М., Габаев М.С. Методология оценки продолжительности и эффективности использования животных в молочном скотоводстве. *Зоотехния*. 2019; (4): 25–28. https://doi.org/10.25708/ZT.2019.59.76.008

17. Гриценко С.А., Костомахин Н.М. Динамика показателей выращивания ремонтных телок в условиях животноводческого предприятия. *Главный зоотехник*. 2023; (11): 3–9. https://doi.org/10.33920/sel-03-2311-01

18. Сударев Н.П., Абылкасымов Д., Абрампальская О.В., Чаргеишвили С.В. Влияние возраста первого плодотворного осеменения телок разной селекции на их последующие хозяйственно полезные признаки. *Сельскохозяйственный журнал*. 2018; (3): 50–56. EDN HMEDQN

19. Elahi Torshizi M. Effects of season and age at first calving on genetic and phenotypic characteristics of lactation curve parameters in Holstein cows. *Journal of Animal Science and Technology.* 2016; 58: 8. https://doi.org/10.1186/s40781-016-0089-1

20. Колесникова А.В., Басонов О.А. Степень использования генетического потенциала голштинских быков-производителей различной селекции. *Зоотехния*. 2017; (1): 10–12. EDN XWVGGV

21. Свяженина М.А. Влияние голштинизации на продуктивные качества черно-пестрого скота. *Интеграция науки и практики для развития агропромышленного комплекса. Сборник статей всероссийской научной конференции.* Тюмень. 2017; 105–112. EDN YQFPAY

22. Блинова А.В. Динамика роста и развития ремонтных телок. *Проблемы интенсивного развития животноводства и их решение. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2022; 312–316. EDN WGEIOX

23. Вахрамова О.Г. Молочная продуктивность первотелок в зависимости от возраста первого осеменения. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Сборник трудов по материалам национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора биологических наук, профессора, Заслуженного работника Высшей школы РФ, Почетного работника ВПО РФ, Почетного гражданина Брянской области Е. П. Ващекина*. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2022; 1: 271–275. EDN OTJCMC

24. Тегза И.М., Абенова Ж.М., Сычева И.Н. Динамика роста и развития молодняка голштинской породы разной линейной принадлежности. *Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки*. Улан-Удэ: Бурятская ГСХА имени В.Р. Филиппова. 2021; 340–344. EDN FGNNHS

25. Канева Е.В., Дробышевский М.В., Горелик О.В., Горелик А.С., Ребезов М.Б. Влияние быка-производителя на изменчивость показателей роста дочерей. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2025; (1(10)): 79–90. https://doi.org/10.52754/16948696_2025_1(10)_11

4. Gridina S.L., Gridin V.F., Sidorova D.V., Novitskaya K.V. Influence of Holstein share on milk productivity of Black-and-White cows. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2018; 32(8): 60–61 (in Russian). https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10816

5. Artemov E.S., Stribunova A.A., Svetlichnaya A.Yu. Cattle breeding in Russia — current aspects and prospects. *Technologies and expertise of agricultural products*. 2025; (2): 63–74 (in Russian). EDN EESIMA

6. Solovyova O.I., Krestyaninova E.I., Khalikova T.Yu. Productivity and reproductive traits of cows of Holstein breed of different origin. *Head of animal breeding*. 2020; (12): 24–33 (in Russian). https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03

7. Gorelik O.V., Rebezov M.B., Dolmatova I.A. Milk productivity of Ural type cows of Holsteinized Black-and-White cattle. *Current problems of modern science, technology and education. Proceedings of the 81st international scientific and technical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2023; 2: 250 (in Russian). EDN AZJXIC

8. Loretts O.G., Gorelik O.V., Gafner V.D. Influence of origin on milk yield of cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016; (4): 45–50 (in Russian). EDN VWUUGZ

9. Chechenikhina O.S., Bykova O.A., Loretts O.G., Stepanov A.V. The age of retirement of cows from the herd, depending on genetic and paratypical factors. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (6): 71–79 (in Russian). https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79

10. Ponomareva Ye.A., Kutsankov O.Yu. Genetic potential of first-calf heifers of the Holstein breed of different selections. *World of innovation*. 2017; (2): 68–71 (in Russian). EDN ZGWNNF

11. Safronov S.L., Kostomakhin N.M., Solov'yeva O.I., Ostroukhova V.I., Kulmakova N.I. Milk productivity and longevity of cows under industrial milk production technology. *Breeding and technological aspects of intensification of livestock production. Based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician M.F. Ivanov*. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. 2022; 1: 223–227 (in Russian). EDN DRQJGH

12. Dunin I.M., Golubkov A.I., Adzhibekov K.K., Chekushkin A.M., Lazovaya G.S. The comparative assessment of the bull-sires of the cattle Red-Motley breed on the origin and the posterity quality by the method of daughter-peer (D-P). *Bulletin of KSAU*. 2015; (9): 212–218 (in Russian). EDN UJKGPJ

13. Seltsov V.I., Molchanova N.V., Sulima N.N. Influence of breeding methods on productive longevity and cows lifetime productivity. *Zootechniya*. 2013; (9): 2–4 (in Russian). EDN RCLXIN

14. Osipova V.I., Krovikova A.N. The relationship between the reproductive qualities of Holstein cows and their milk productivity. *Current state of animal husbandry and its development trends. Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference*. Moscow: Akademiya Print. 2025; 121–124 (in Russian). EDN OTZJHI

15. Braganholo R.C. *et al.* Age at first calving and productive performance of primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Research*. 2023; 90(4): 353–356. https://doi.org/10.1017/S0022029923000729

16. Gukezhev V.M., Gabaev M.S. Methodology for assessing the duration and efficiency of animal use in dairy cattle. *Zootechniya*. 2019; (4): 25–28 (in Russian). https://doi.org/10.25708/ZT.2019.59.76.008

17. Gritsenko S.A., Kostomakhin N.M. Dynamics of indicators of replacement heifers rearing under the conditions of an animal husbandry enterprise. *Head of animal breeding*. 2023; (11): 3–9 (in Russian). https://doi.org/10.33920/sel-03-2311-01

18. Sudarev N.P., Abylkasymov D., Abrampalskaya O.V., Chargeishvili S.V. Influence of the age of the first fruitful insemination in heifers of different selection on their subsequent economically useful traits. *Agricultural journal*. 2018; (3): 50–56 (in Russian). EDN HMEDQN

19. Elahi Torshizi M. Effects of season and age at first calving on genetic and phenotypic characteristics of lactation curve parameters in Holstein cows. *Journal of Animal Science and Technology.* 2016; 58: 8. https://doi.org/10.1186/s40781-016-0089-1

20. Kolesnikova A.V., Basonov O.A. The genetic potential of various selection Holstein sires. *Zootechniya*. 2017; (1): 10–12 (in Russian). EDN XWVGGV

21. Svyazhenina M.A. Influence of Holstain [sic!] breed on the productive qualities of hybrids with Black and White breed. *Integration of science and practice for the development of the agro-industrial complex. Collection of articles from the All-Russian scientific conference*. Tyumen. 2017; 105–112 (in Russian). EDN YQFPAY

22. Blinova A.V. Dynamics of growth and development of repair heifers. *Problems of intensive livestock development and their solution. Collection of scientific papers from the International scientific and practical conference of students, postgraduates, and young scientists*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022; 312–316 (in Russian). EDN WGEIOX

23. Vakhramova O.G. Milk productivity of first-calves depending on age of first insemination. *Current issues of intensive livestock development. Collection of papers based on the proceedings of the National scientific and practical conference with international participation dedicated to the memory of Egor P. Vashchekin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Citizen of the Bryansk Region*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022; 1: 271–275 (in Russian). EDN OTJCMC

24. Tegsa I.M., Abenova Zh.M., Sycheva I.N. Growth and development dynamics of young Holstein breeds of different lineages. *Current issues in the development of the agricultural sector of the Baikal region. Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the Day of Russian Science*. Ulan-Ude: Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov. 2021; 340–344 (in Russian). EDN FGNNHS

25. Kaneva E.V., Drobyshevsky M.V., Gorelik O.V., Gorelik A.S., Rebezov M.B. The influence of the sire on the variability of growth indicators of daughters. *Bulletin of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary science and animal science*. 2025; (1(10)): 79–90. (in Russian). https://doi.org/10.52754/16948696_2025_1(10)_11

26. Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Эйриян Н.А., Шальнев О.В. Продуктивные качества коров голштинской породы в динамике по лактациям. *Аграрная наука.* 2026; 406 (05): 48–55. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-48-55

27. Грибко А.В., Ребезов М.Б., Горелик О.В. Живая масса и возраст первого осеменения ремонтного молодняка голштинской породы. *Молодежь и наука.* 2023; (10): 45. EDN ZISKRJ

26. Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Eyrian N.A., Shalnev O.V. Productive qualities of Holstein cows in dynamics of lactation. *Agrarian science.* 2026; 406 (05): 48–55 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-48-55

27. Gribko A.V., Rebezov M.B., Gorelik O.V. Live weight and age at first insemination of Holstein replacement young cattle. *Molodezh' i nauka (Youth and Science).* 2023; (10): 45. (in Russian). EDN ZISKRJ

ОБ АВТОРАХ

Артём Сергеевич Горелик[1]
кандидат биологических наук
temae077ex@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3362-2514

Ольга Васильевна Горелик[2]
доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов
olgao205en@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9546-2069

Максим Борисович Ребезов[2, 3]
• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник[2];
• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов[3]
rebezov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0857-5143

Светлана Юрьевна Харлап[2]
кандидат биологических наук, доцент
proffuniver@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-3651-8835

Николай Арменакович Эйриян[2]
кандидат экономических наук
ucupp2017@mail.ru

[1]Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, ул. Мира, 22, Екатеринбург, 620062, Россия

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

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

ABOUT THE AUTHORS

Artyom Sergeevich Gorelik[1]
Candidate of Biological Sciences
temae077ex@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3362-2514

Olga Vasilyevna Gorelik[2]
Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products
olgao205en@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-9546-2069

Maksim Borisovich Rebezov[2, 3]
• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher[2];
• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products[3]
rebezov@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-0857-5143

Svetlana Yurievna Kharlap[2]
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
proffuniver@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-3651-8835

Nikolay Armenakovich Eyriyan[2]
Candidate of Economic Sciences
ucupp2017@mail.ru

[1]Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 22 Mira st., Yekaterinburg, 620062, Russia

[2]Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia

[3]Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

УДК 636.082.2

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-86-92

О.В. Дивенко

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

✉ *perminova@anc55.ru*

Поступила в редакцию: 10.03.2026
Одобрена после рецензирования: 07.08.2026
Принята к публикации: 21.08.2026

© Дивенко О.В.

Оценка генетической структуры стада коров красной степной породы с разной долей кровности улучшающих пород по гену PIT-1

РЕЗЮМЕ

Цель исследований — осуществить генетико-статистический анализ по гену PIT-1 коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам. Исследования выполнены в лаборатории животноводства ФГБНУ «Омский АНЦ». Объект исследования — поголовье коров красной степной породы одного из хозяйств Омской области. Исследование полиморфизма гена PIT-1 проводили в научной лаборатории биотехнологий (СФНЦА РАН, г. Новосибирск). Впервые в условиях Омской области изучен полиморфизм гена PIT-1 у коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам, а также проведен генетико-статистический анализ стада. Для проведения исследований было сформировано шесть групп коров с разным сочетанием улучшающих пород: англерской, красной датской и голштинской. Популяционная частота встречаемости аллеля А (0,24) и аллеля В (0,76) обеспечила повышенный уровень гомозиготности (63,3%) по гену PIT-1. Популяционная частота встречаемости генотипа АА была минимальной (6%), а у коров с кровностью более 50% по красной датской породе этот генотип отсутствовал. Частота встречаемости гетерозиготного генотипа АВ в среднем по всему поголовью составила 36%, гомозиготного генотипа ВВ — 58%. Частота встречаемости гетерозиготного генотипа АВ составила 24%, гомозиготного генотипа ВВ — 76%. Максимальная гомозиготность (73–79%) у животных с кровностью по англерской породе (до 50%) и по красной датской породе (более 50%) определила низкое значение генетической изменчивости (22–28%). Преобладание кровности по голштинам (более 50%) способствовало снижению у красных степных коров уровня гомозиготности до 52,5–60,1%. Повышенная гетерозиготность выявлена у высококровных по англерской породе коров (0,66).

Ключевые слова: красная степная порода, улучшающие породы, ген гипофизарный фактор транскрипции (PIT-1), аллель, генотип

Для цитирования: Дивенко О.В. Оценка генетической структуры стада коров красной степной породы с разной долей кровности улучшающих пород по гену PIT-1. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 86–92.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-86-92

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-86-92

Olga V. Divenko

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia

✉ *perminova@anc55.ru*

Received by the editorial office: 10.03.2026
Accepted in revised: 07.08.2026
Accepted for publication: 21.08.2026

© Divenko O.V.

Assessment of the genetic structure of a herd of cows of the red steppe breed with a different proportion of blood of improving breeds according to the PIT-1 gene

ABSTRACT

The purpose of the research is to carry out a genetic and statistical analysis of the PIT–1 gene of cows of the red steppe breed with different bloodlines for improving breeds. The research was carried out in the laboratory of animal husbandry of the Omsk Agricultural Research Center. The object of the study: the number of cows of the red steppe breed of one of the farms of the Omsk region. The polymorphism of the PIT-1 gene was studied at the Scientific Laboratory of Biotechnology (Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk). Scientific novelty: for the first time in the Omsk region, the polymorphism of the PIT-1 gene was studied in cows of the red steppe breed with different bloodlines for improving breeds, and a genetic and statistical analysis of the herd was carried out. To conduct the research, six groups of cows with different combinations of improving breeds were formed: Angler, Red Danish and Holstein. The population frequency of allele A (0.24) and allele B (0.76) provided an increased level of homozygosity (63.3%) for the PIT-1 gene. The population frequency of the AA genotype was minimal (6%), and cows with a bloodline of more than 50% of the red Danish breed did not have this genotype. The frequency of occurrence of the heterozygous AB genotype averaged 36% across the entire livestock, and the homozygous BB genotype was 58%. The maximum homozygosity (73–79%) in animals with bloodlines for the Angler breed (up to 50%) and the Red Danish breed (more than 50%) determined a low value of genetic variability (22–28%). The predominance of Holstein blood (more than 50%) contributed to a decrease in homozygosity in red steppe cows to 52.5–60.1%. Increased heterozygosity was found in high-blooded Angler cows (0.66).

Key words: red steppe breed, improving breeds, pituitary transcription factor gene (PIT-1), allele, genotype

For citation: Divenko O.V. Assessment of the genetic structure of a herd of red steppe cows with different blood types by the PIT-1 gene. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 86–92 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-86-92

Введение/Introduction

Геномная селекция позволяет осуществлять раннее прогнозирование молочных признаков коров, используя информацию о полиморфизме значимых ДНК-маркеров. В последнее время пристальное внимание стало уделяться изучению генов, определяющих физиологические процессы организма и обуславливающих продуктивные качества животных. Широко изучаются особенности полиморфизма генов, кодирующих синтез молочного гипоаллергенного белка казеина [1, 2], определяющих выработку и регуляцию гормонов [3, 4]. В том числе ген соматотропного ряда PIT-1 (гипофизарного фактора транскрипции), отвечающий за эмбриональное развитие клеток зон гипофиза, обеспечивающих выработку тиреотропного гормона, пролактина и соматотропина, и регулирующий их экспрессирование [5]. Этот ген входит в POUдомен, который включает группу транскрипционных регуляторов, играющих важную роль в дифференциации и пролиферации клеток, секретирующих вышеперечисленные гормоны. У крупного рогатого скота ген PIT-1 определен в районе центромеры первой хромосомы. Полиморфизм гена PIT-1 идентифицирован в шестом экзоне. Несмотря на то, что мутация не изменяет аминокислотный состав белка, рядом научных исследований выявлено ассоциирование показателей молочной продуктивности с полиморфизмом изучаемого гена у коров отечественных и зарубежных пород [6]. При проведении исследований чаще всего выделяются два аллеля A и B и три генотипа AA, AB и BB изучаемого гена. При изучении полиморфизма гена PIT-1 практически все ученые приходят к единому мнению, что в популяциях крупного рогатого скота молочного направления разного географического разведения частота встречаемости аллеля B и генотипа BB значительно превосходит другие формы гена. Малочисленным считается генотип коров AA гена PIT-1.

На территории Омской области около 60% поголовья крупного рогатого скота относится к красной степной породе. Для повышения продуктивных качеств маточное поголовье скрещивают с быками-производителями молочных пород высокого генетического потенциала: англерской, красной датской и голштинской красно-пестрой масти. С внедрением геномных технологий становятся актуальными вопросы изучения полиморфизма ДНК-маркеров у коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам, которые к настоящему времени исследованы не были.

Цель исследований — провести генетико-статистический анализ по гену гипофизарного фактора транскрипции поголовья коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам. Задачи: изучить особенности полиморфизма гена PIT-1 (определить частоту встречаемости аллелей A и B и генотипов AA, AB и BB, выявить ассоциирование с показателями молочной продуктивности), провести сравнительную оценку по селекционно-генетическим параметрам поголовья коров красной степной породы разных вариантов кровности по улучшающим породам.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проведены на поголовье коров красной степной породы, принадлежащих одному из хозяйств Омской области Российской Федерации.

Для повышения генетического потенциала маточного поголовья использовались быки улучшающих пород: англерской, красной датской и голштинской красно-пестрой масти.

Подбор быков-производителей к маточному поголовью проводился индивидуально с целью повышения молочной продуктивности на фоне сохранения породности.

Формирование групп проводилось с учетом данных о кровности животных с применением ИАС «Селэкс-Молочный скот» (ООО «Плинор», Санкт-Петербург, Россия) (табл.1).

Исследование полиморфизма гена PIT-1 проводилось в лаборатории агробиотехнологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН, г. Новосибирск, Россия).

В качестве исходного материала кровь 126 коров красной степной породы была отобрана в сентябре 2025 года сотрудниками ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омск, Россия) в промаркированные вакуумные пробирки (вакутейнеры) объемом 4 мл с консервантом, при температуре 2–4 °С транспортирована в лабораторию агробиотехнологий (СФНЦА РАН, Новосибирск, Россия).

Все исследования на крупном рогатом скоте проведены в соответствии с требованиями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и других

Таблица 1. **Группы коров в зависимости от кровности улучшающих пород**

Table 1. **Groups of cows based on the bloodline of the improving breeds**

Группа	Поголовье	Первая улучшающая порода		Вторая улучшающая порода	
		наименование	кровность, %	наименование	кровность, %
1	31	голштинская	до 50	англерская	менее 50
2	22				более 50
3	23			красная датская	менее 50
4	21				более 50
5	9		51–75	англерская	менее 50
6	20		51 и более	–	–
Всего	126				

целях от 18.03.1986.[1], а также в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации[2].

Анализ осуществлялся согласно апробированной ПЦР–ПДРФ методике, включал в себя амплификацию фрагмента размером 163 п.н. с использованием амплификатора С1000 «Bio-Rad» (Bio-Rad Laboratories, США.) Полученные продукты амплификации генов обрабатывали эндонуклеазами рестрикции Hind III, EcoICRI, Hae III, RsaI (СибЭНЗИМ, Новосибирск, Россия) согласно прописи изготовителя. Визуализацию и идентификацию генотипов определяли электрофорезом в 3%-ном агарозном геле в УФ-свете [7].

Условия содержания и кормления для исследуемых животных были одинаковыми.

Первичная информация по животным, сформированная через «Структуру картотеки» ИАС «Селэкс-Молочный скот» (ООО «РЦ «ПЛИНОР», Санкт-Петербург, Россия), была импортирована в программу Excel 97-2003 (США).

Вычисления показателей, используемых в данной работе, проводили по формулам, представленным в методике определения генетической структуры стада [15]:

1. Частота встречаемости генотипов (P):

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

где: n — количество животных, имеющих определенный генотип; N — общее количество особей.

2. Частота встречаемости аллелей A (P(A)) и B (P(B)):

$$P(A) = \frac{2 \times nAA + nAB}{2N}, \quad (2)$$

$$P(B) = \frac{2 \times nBB + nAB}{2N}, \quad (3)$$

где: nAA — число особей с генотипом AA; nAB — число особей с генотипом AB; nBB — число особей с генотипом BB.

3. Расчет теоретически ожидаемого количества носителей гомозигот (N_{ii}), голов:

$$N_{ii} = P_i^2 N, \quad (4)$$

4. Расчет теоретически ожидаемого количества носителей гетерозигот (N_{ij}), голов:

$$N_{ij} = P_i P_j 2N, \quad (5)$$

где: P_i, P_j — частота i и j аллелей; N — общее количество животных.

5. Генетическое равновесие (формула Харди-Вайнберга):

$$\chi^2 = \frac{\Sigma(Ф - T)^2}{T}, \quad (6)$$

где: Ф — наблюдаемое количество животных каждого генотипа; T — ожидаемое число животных каждого генотипа.

6. Уровень гомозиготности локуса, %:

$$Ca = P(A)^2 + P(B)^2 \times 100, \quad (7)$$

7. Число эффективно действующих аллелей (уровень полиморфности локуса):

$$Na = \frac{1}{Ca}, \quad (8)$$

где Na — уровень полиморфности локуса.

8. Степень (V) генетической изменчивости популяции (по А. Робертсону):

$$V = 1 - Ca / 1 - 1 / N \times 100, \quad (9)$$

где N — количество животных,

9. Тест гетерозиготности (ТГ):

$$ТГ = \frac{\text{наблюдаемая гетерозиготность}}{\text{теоретическая гетерозиготность}}, \quad (10)$$

10. Индивидуальный индекс фиксации Райта:

$$Fis = \frac{He - Ho}{He}, \quad (11)$$

где: Fis — индекс фиксации Райта, He — ожидаемая гетерозиготность, Ho — наблюдаемая гетерозиготность.

11. Степень (r) генетического сходства популяций (формула Майяла и Линдстрема):

$$r = \frac{\Sigma(X_i \times Y_i)}{\sqrt{\Sigma X_i^2 \times \Sigma Y_i^2}}, \quad (12)$$

где: r — индекс генетического сходства; X_i, Y_i — частоты одних и тех же аллелей в сравниваемых популяциях.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Полиморфизм гена PIT-1 у исследуемого поголовья представлен двумя аллелями A и B и тремя генотипами AA, AB и BB.

Распределение по генотипам и аллелям изучаемого гена коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам представлено в таблице 2.

Таблица 2. **Частота встречаемости генотипов и аллелей гена PIT-1 коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам**
Table 2. **Frequency of occurrence of genotypes and alleles of the PIT-1 gene in red steppe cows with different bloodlines of improving breeds**

Группы	Число особей с генотипом, голов			Всего голов	Частота генотипа			Частота аллеля	
	AA	AB	BB		AA	AB	BB	A	B
1	1	8	22	31	0,03	0,26	0,71	0,16	0,84
2	2	11	9	22	0,09	0,50	0,41	0,34	0,66
3	2	9	12	23	0,09	0,39	0,52	0,28	0,72
4	-	5	16	21	–	0,24	0,76	0,12	0,88
5	1	5	3	9	0,11	0,56	0,33	0,39	0,61
6	2	7	11	20	0,10	0,35	0,55	0,28	0,73
Все поголовье	8	45	73	126	0,06	0,36	0,58	0,24	0,76

[1] Protocol of Amendment to the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS no. 170)
[2] Федеральный закон РФ от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Среди изучаемых животных было выявлено наибольшее количество носителей гомозиготного генотипа ВВ (73 головы), его популяционная частота составила 0,58. При этом максимальное носительство данного генотипа (0,71–0,76) определено среди коров первой и четвертой групп (низкокровных по голштинам и с кровностью по англерской и красной датской породам соответственно). У высококровных по голштинской породе животных частота встречаемости гомозиготного генотипа ВВ гена PIT-1 была на уровне 0,33–0,55. Среди высококровных по англерской породе животных выявлено минимальное количество носителей ВВ генотипа гена PIT-1 (0,33–0,41) при встречаемости аллеля В с частотой 0,61–0,66. Редко встречающимся генотипом АА обладали только 8 голов или 6% исследуемых животных. При этом у коров четвертой группы (с преобладанием крови по красной датской породе) этот генотип отсутствовал, а у низкокровных по голштинам особей частота его встречаемости была на минимальном уровне 0,03–0,09.

Среди высококровных по голштинам коров частота встречаемости генотипа АА была немного выше 0,10–0,11. Гетерозиготный генотип АВ в среднем по всему поголовью занял промежуточное значение со значением 0,36. Более высокая гетерозиготность по гену PIT-1 наблюдалась среди животных второй и пятой групп (0,50–0,56). Популяционная частота аллеля В составила 0,76, аллеля А — 0,24. У коров первой и четвертой групп встречаемость аллеля В оказалась максимальной 0,84–0,88, а у животных второй и пятой групп — минимальной (0,61–0,66).

При определении генетического равновесия исследуемой популяции по гену PIT-1 были проанализированы фактические и ожидаемые частоты встречаемости генотипов АА, АВ и ВВ (табл.3).

Основываясь на разнице ожидаемых и фактически определенных частот встречаемости генотипов гена PIT-1, согласно закону Харди-Вайнберга, было определено генетическое равновесие исследуемого поголовья. Расчет показателя (2,97) в среднем по всему поголовью продемонстрировал, что данная популяция коров красной степной породы определяется как генетически равновесная ($P < 0,05$).

При более детальном рассмотрении генетического разнообразия гена PIT-1 с учетом наблюдаемой и ожидаемой гетерозигтности в работе был определен индивидуальный индекс фиксации исследуемого поголовья красного степного скота (Рисунок 1).

В целом, по исследуемой популяции коров красной степной породы выявлен небольшой недостаток гетерозигот гена PIT-1. Разница средневзвешенных показателей наблюдаемой и ожидаемой гетерозигтности оказалась положительной (0,03) с повышенным индивидуальным индексом фиксации (0,07), что указывает на равновесное состояние генотипической структуры стада. При рассмотрении в разрезе групп у высококровных по англерам животных (пятая группа) выявлен избыток наблюдаемой гетерозиготности относительно ожидаемой (на 0,18) и сниженный индивидуальный индекс фиксации (-0,38), что подтверждает использование межпородного скрещивания. В остальных группах коров наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность практически не различались (разница варьировала от -0,01 до -0,12), при низком индексе фиксации (от -0,04 до -0,27), что свидетельствует о равновесном состоянии генотипической структуры стада.

Рис. 1. Генное разнообразие гена PIT-1 у коров красной степной породы с разными вариантами кровности по улучшающим породам

Fig. 1. Genetic diversity of the PIT-1 gene in Red Steppe cows with different bloodlines of improving breeds

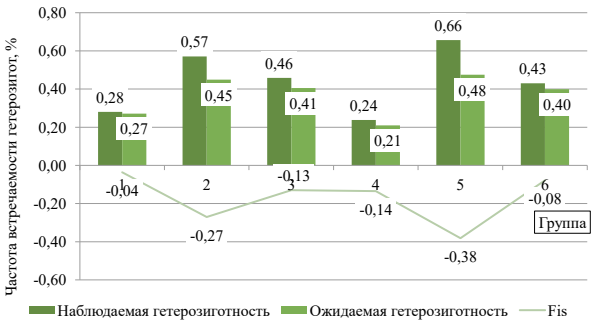


Таблица 3. **Фактическая и ожидаемая частота встречаемости генотипов гена PIT-1 у коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам**

Table 3. **Actual and expected frequency of occurrence of PIT-1 gene genotypes in red steppe cows with different bloodlines of improving breeds**

Группы	Поголовье	Частота встречаемости генотипа, головы					
		АА		АВ		ВВ	
		фактическая	ожидаемая	фактическая	ожидаемая	фактическая	ожидаемая
1	31	1	0,81	8	8,39	22	21,81
2	22	2	2,56	11	9,89	9	9,56
3	23	2	1,84	9	9,33	12	11,84
4	21	-	0,30	5	4,40	16	16,30
5	9	1	1,36	5	4,28	3	3,36
6	20	2	1,51	7	7,98	11	10,51
всего	126	8	8,37	45	44,26	73	73,37
χ^2	2,97	0,98		0,99		1,00	

Высокий уровень гомозиготности гена PIT-1 свидетельствует о стойкой передаче наследственности обусловленных признаков будущему потомству (табл. 4). Доля гомозиготных особей по гену PIT-1 в исследуемой популяции в среднем составила 63,3%. При этом максимальные значения были определены в первой (72,9%) и четвертой (79%) группах животных, низкокровных по голштинской породе. Преобладание кровности по голштинам (более 50%) способствовало снижению у красных степных коров уровня гомозиготности до 52,5–60,1%.

Исследуемое поголовье коров красной степной породы, выведенное при использовании допущенных улучшающих пород, объединено высокой степенью генетического родства (0,90–0,99).

Уровень полиморфности гена PIT-1, определяющий число эффективно действующих аллелей и зависящий от их количества, у животных разных групп составил 1,3–1,9 в силу того, что исследуемый ген представлен двумя аллелями A и B.

Коэффициент генетической изменчивости популяции, показывающий уровень генетического разнообразия, с минимальным значением (22–28%) характеризовал низкокровных по голштинам животных первой и четвертой групп. Повышенная гетерозиготность определила высокий коэффициент изменчивости у животных второй, третьей, пятой и шестой групп 42–53,5%.

При сравнении молочной продуктивности коров с разными генотипами гена PIT-1 выявлено достоверное влияние генотипа BB на показатели молочной продуктивности коров красной степной породы некоторых групп. Так, коровы второй и четвертой групп (с преобладанием кровности по англерской и красной датской породам) характеризовались максимальным удоем за 1 лактацию 5373–5551 кг, что на 392–730 кг больше в сравнении с носителями других генотипов ($P > 0,05$), а также выходом молочного жира (206–215 кг) и белка (186–188 кг) с разницей на 16–30 кг и 16–28 кг соответственно ($P > 0,05$). У коров пятой группы с преобладанием кровности по голштинской породе (более 50%) и наличием кровности по англерской породе (менее 50%) выявлено достоверное влияние генотипа BB на компоненты молока: по содержанию жира эти животные на 0,45–1,04% превосходили носительниц генотипа AB, по содержанию белка — на 0,25–0,38%, лактозы — 0,34–0,46% и сухого вещества — на 1,06–1,87% ($P < 0,05$).

Особенности полиморфизма гена PIT-1 имеют некоторые отличия у коров разных пород отечественной и зарубежной селекции, что подтверждено научными исследованиями.

Так, в условиях Ставропольского края у коров айрширской, ярославской и красной степной пород частота встречаемости аллеля B варьировала от 0,62 до 0,68, что обеспечило и высокую концентрацию генотипа BB 48-56% среди всего исследуемого поголовья [7]. У алтайских симменталов,

Таблица 4. **Оценка генетической структуры стада по гену PIT-1 коров красной степной породы с разной кровностью по улучшающим породам**

Table 4. **Evaluation of the genetic structure of the herd based on the PIT-1 gene of Red Steppe cows with different bloodlines of improving breeds**

Группа	Уровень гомозиготности, %	Число эффективных аллелей	Коэффициент генетической изменчивости популяции, %	Степень генетического родства популяции				
				Группы				
				2	3	4	5	6
1	72,9	1,4	28,0	0,97	0,99	0,99	0,92	0,98
2	55,1	1,8	47,1	–	0,99	0,98	0,99	0,99
3	59,5	1,7	42,4	–	–	0,97	0,98	0,99
4	79,0	1,3	22,0	–	–	–	0,90	0,97
5	52,5	1,9	53,5	–	–	–	–	0,98
6	60,1	1,7	42,0	–	–	–	–	–
Всего	63,3	1,6	37,0	–				

новосибирских коров красной степной и черно-пестрой пород наибольший удельный вес приходился на носителей генотипа BB 44–62%. Малочисленной была группа коров с генотипом AA 5–8% [8]. Казахстанская популяция красного степного и симментальского скота также не была исключением и на 69% и 46% соответственно относилась к носителям аллеля B. Генетическое равновесие (χ^2), определяемое по разнице ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности, в этих стадах не было нарушено и варьировало от 0,04 до 0,886 [9]. При изучении коров кавказкой бурой породы в Республике Дагестан было установлено генетическое различие особей по гену PIT-1, выращиваемых в равнинной и горной местности. У коров, содержащихся в горах, частота встречаемости аллеля B составила 90%, что обеспечило высокий уровень гомозиготности в популяции 82%. У животных равнинной местности отсутствовал генотип AA, а частота встречаемости генотипа BB была 65% при уровне гомозиготности 71,1% [10].

У голштинских коров в Республике Татарстан генотип AA ассоциировался с высоким удоем (7339,6 кг), содержанием жира (4,05%) и белка (3,39%) в молоке [6].

У симментальского скота, разводимого в Эрзуруме (Турция) частота встречаемости аллеля B гена PIT-1 составила 0,58, аллеля A 0,42, что в целом сказалось на распределении частот встречаемости генотипов AA — 16%, AB — 51%, BB — 33%. У швицкого скота того же ареала распространения частота встречаемости генотипов AA была 10%, AB 28% и BB 51% [11, 12]. У турецких коров Anatolian Black, голштинской и швицкой пород частота встречаемости аллеля B варьировала от 0,68 до 0,90, а генотипов AA от 0 (швицкая порода) до 10%, генотип AB втречался у 20–44%, а генотип BB у 46–80% животных [13]. У румынского скота пород Romanian Spottedcattle и Romanian Brown носительство аллеля B также было преобладающим (0,8 и 0,6), что привело к следующему

распределению генотипов АА от 0 до 10%, АВ от 40 до 50%, ВВ от 30 до 60% [14].

У коров красной степной породы Омской области выявлено высокое носительство аллеля В гена PIT-1 (в целом по исследуемой популяции 0,76), что немного превышает результаты исследований ученых по этой породе (0,67–0,69), разводимой в Ставропольском, Алтайском крае и Республике Казахстан. Частота встречаемости гомозиготного генотипа ВВ (58%) в наших исследованиях не выходила за рамки соответствующего показателя коров красной степной породы других регионов (48–62%).

В данной работе впервые выявлено влияние кровности по англерской (до 50%) и красной датской (более 50%) породам на повышение частоты носительства аллеля В (0,84–0,88) и генотипа ВВ (0,71–0,76), а голштинской породы — на снижение этих показателей (0,73 и 0,55 соответственно). У высококровных по англерской породе коров количество особей-носителей генотипа ВВ было минимальным (0,33–0,41) при встречаемости аллеля В 0,61–0,66.

Наблюдаемая популяционная гетерозиготность коров красной степной породы Омской области (0,357) соответствовала полученным научным данным исследователей Алтайского края (0,40) и Ставрополья (0,367). Соответственно, степень гомозиготности у коров Омской области несколько выше (63,3%) в сравнении со Ставропольским поголовьем (55,8%).

У сибирского поголовья красной степной породы с преобладающей кровностью по англерской и красной датской породам высокий удой, количество молочного жира и белка за первую лактацию ассоциировалось с генотипом ВВ. Этот же генотип у высококровных по голштинам животных достоверно ассоциировался с качественными показателями молока в отличие от голштинского поголовья, разводимого в Татарстане, у которого высокие удой (7339,6 кг), содержание жира (4,05%) и белка (3,39%) в молоке ассоциировались с генотипом АА.

Выводы/Conclusion

Исследования особенностей полиморфизма гена PIT-1 у красного степного скота Омской области выявили высокую степень популяционной гомозиготности (63,3%).

Установлено влияние кровности по англерской породе (до 50%) и красной датской породы (более 50%) на высокую частоту встречаемости гомозиготного генотипа ВВ (0,71–0,76) и аллеля В (0,84–0,88). Максимальная гомозиготность (72,9–79,0%) этих животных определила низкое значение генетической изменчивости (22–28%).

У высококровных по англерской породе коров определена повышенная гетерозиготность — 0,66. Генотип ВВ оказал достоверное влияние на удой, выход молочного жира и белка у коров с преобладанием кровности по англерской и красной датской породам.

У высокровного по голштинам маточного поголовья определено достоверное влияние генотипа ВВ на показатели качественного состава молока.

При планировании селекционно-племенной работы с маточным поголовьем красного степного скота необходимо учитывать влияние кровности улучшающих пород на полиморфизм гена PIT-1, а также отдавать предпочтение особям гомозиготного генотипа ВВ с целью улучшения молочных показателей и качественных характеристик молока.

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

Статья подготовлена рамках утвержденной государственным заданием поисковой темы научных исследований «Совершенствование генетического потенциала скота красной степной породы с учетом кровности по улучшающим породам российской селекции» (FNUN-2024-0006) подпрограммы «Улучшение генетического потенциала крупного рогатого скота молочных пород» в рамках реализации Федерального проекта «Аграрная наука — шаг в будущее развитие АПК» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

FUNDING

The article was prepared within the framework of the research topic approved by the state assignment: «Improving the genetic potential of Red Steppe cattle, taking into account the bloodline of Russian breeding breeds» (FNUN-2024-0006) under the subprogram «Improving the genetic potential of dairy cattle» as part of the Federal Project «Agrarian Science - a Step into the Future Development of the Agro-Industrial Complex» of the State Program of the Russian Federation «Scientific and Technological Development of the Russian Federation».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богатова П.С., Лиходеевская О.Е., Лиходеевский Г.А., Лоретц О.Г., Зулаева А.С. Аллельное разнообразие бета- и каппа-казеинов крупного рогатого скота голштинской породы Свердловской области. *Аграрная наука*. 2025; (4): 101–107. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107
2. Олейник С.А., Лесняк А.В. Полиморфизм гена бета-казеина у крупного рогатого скота джерсейской породы в Ставропольском крае. *Аграрная наука*. 2025; (7): 107–113. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113
3. Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Кудрина М.А., Ступина А.О., Классен И.А., Щипакова Е.Н. Влияние гена лептина на продолжительность хозяйственного использования крупного рогатого скота. *Вестник КрасГАУ*. 2023; (12): 146–153. https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-146-153
4. Зиннатов Ф.Ф. *и др.* Применение ДНК-технологий в тестировании коров голштинской породы по генам *TG5*, *SCD1* и *LEP* для повышения эффективности производства молока. *Ученые записки казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2023; 254: 108–114. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_254_108
5. Тарасова Е.И., Нотова С.В. Гены-маркеры продуктивных характеристик молочного скота (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*. 2020; 103(3): 58–80. https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-58

REFERENCES

1. Bogatova P.S., Lihodeevskaya O.E., Lihodeevskiy G.A., Loretts O.G., Zulaeva A.S. Allelic diversity of beta- and kappa-caseins in Holstein cattle of the Sverdlovsk region. *Agrarian science*. 2025; (4): 101–107 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107
2. Oleinik S.A., Lesnyak A.V. Beta-casein gene polymorphism in Jersey cattle in the Stavropol region. *Agrarian science*. 2025; (7): 107–113 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113
3. Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Kudrina M.A., Stupina A.O., Klassen I.A., Shchipakova E.N. The leptin gene effect on the cattle economic use duration. *Bulletin of KSAU*. 2023; (12): 146–153 (in Russian). https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-146-153
4. Zinnatov F.F. *et al.* Application of DNA technologies in testing the *TG5*, *SCD1*, *LEP* genes of Holstin cows to increase the efficiency of milk production. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2023; 254: 108–114 (in Russian). https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_254_108
5. Tarasova E.I., Notova S.V. Gene markers of the productive characteristics of dairy cattle (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020; 103(3): 58–80 (in Russian). https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-58

6. 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
7. Селионова М.И., Чижова Л.Н., Суржикова Е.С., Шарко Г.Н., Михайленко Т.Н., Чудновец А.И. Породные особенности аллельного профиля генов, контролирующих молочную продуктивность крупного рогатого скота. *Агро-ЗооТехника*. 2019; 2(1). https://doi.org/10.15838/alt.2019.2.1.3
8. Гончаренко Г.М., Авадани Д.А., Хорошилова Т.С. Оценка полиморфизма коров разных пород по генам продуктивности и резистентности. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2024; (2): 54–61. https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-232-2-54-61
9. Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н., Кайниденов Н.Н. Полиморфные варианты гена *PIT-1* крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Республики Казахстан. *Вестник НГАУ*. 2023; (3): 167–175. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175
10. Суржикова Е.С., Михайленко Т.Н., Евлагина Д.Д. Особенности полиморфизма генов *PIT-1*, *PRL* у коров кавказской бурой породы, разводимой в Республике Дагестан. *Сборник научных трудов КНЦЗВ*. 2022; 11(1): 32–36. https://doi.org/10.48612/sbornik-2022-1-7
11. Sönmez Z., Ünal H. The Relationship of *POU1F1-HinfI* Gene Polymorphisms on Milk Yields in Simmental Cattle. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023; 33(4): 513–521. https://doi.org/10.29133/yyutbd.1271873
12. Toyğar O., Ozdemir M. The relationships between *PIT-1* gene polymorphism and some performance traits in Simmental and Brown Swiss breeds. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2023; 73(4): 4689–4696. https://doi.org/10.12681/jhvms.28126
13. Aytekin İ., Fadhıl M. *PIT-1* Gene Polymorphisms in Anatolian Black, Holstein Friesian, Brown Swiss and Simmental Cattle Reared in Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*. 2022; 28(1): 139–144. https://doi.org/10.15832/ankutbd.747211
14. Ilie D.E., Mizeranschi A.E., Mihali C.V., Neamț R.I., Carabaș M., Grădinaru A.C. The effect of genetic variations of pituitary transcription factor 1 (*PIT1*) on milk performance traits in Romanian cattle. *Revista română de medicină veterinară*. 2021; 31(1): 87–92.
15. Кузнецов В.М. F-статистики Райта: оценка и интерпретация. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2014; (4): 80–104. EDN TFRDMN

6. 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
7. Selionova M.I., Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Sharko G.N., Mikhailenko T.N., Chudnovets A.I. Breed Characteristics of the Allelic Profile of the Genes that Control Milk Production in Cattle. *Agricultural and Livestock Technology*. 2019; 2(1) (in Russian). https://doi.org/10.15838/alt.2019.2.1.3
8. Goncharenko G.M., Avadani D.A., Khoroshilova T.S. Evaluation of polymorphism in cows of different breeds by genes of productivity and resistance. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2024; (2): 54–61 (in Russian). https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-232-2-54-61
9. Jaxybayeva G.G., Kochnev N.N., Kaynidenov N.N. Polymorphic variants of the *PIT-1* gene in simmental and red steppe cattle of the Republic of Kazakhstan. *Vestnik NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; (3): 167–175 (in Russian). https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175
10. Surzhikova E.S., Mikhailenko T.N., Evlagina D.D. Specific features OF *PIT-1*, *PRL* genes polymorphism in the Brown Caucasian cattle breed in the Republic of Dagestan. *Collection of Scientific Papers of KRCAHV*. 2022; 11(1): 32–36 (in Russian). https://doi.org/10.48612/sbornik-2022-1-7
11. Sönmez Z., Ünal H. The Relationship of *POU1F1-HinfI* Gene Polymorphisms on Milk Yields in Simmental Cattle. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023; 33(4): 513–521. https://doi.org/10.29133/yyutbd.1271873
12. Toyğar O., Ozdemir M. The relationships between *PIT-1* gene polymorphism and some performance traits in Simmental and Brown Swiss breeds. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2023; 73(4): 4689–4696. https://doi.org/10.12681/jhvms.28126
13. Aytekin İ., Fadhıl M. *PIT-1* Gene Polymorphisms in Anatolian Black, Holstein Friesian, Brown Swiss and Simmental Cattle Reared in Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*. 2022; 28(1): 139–144. https://doi.org/10.15832/ankutbd.747211
14. Ilie D.E., Mizeranschi A.E., Mihali C.V., Neamț R.I., Carabaș M., Grădinaru A.C. The effect of genetic variations of pituitary transcription factor 1 (*PIT1*) on milk performance traits in Romanian cattle. *Revista română de medicină veterinară*. 2021; 31(1): 87–92.
15. Kuznetsov V.M. Wright's F-statistics: estimation and interpretation. *Problems of productive animal biology*. 2014; (4): 80–104 (in Russian). EDN TFRDMN

ОБ АВТОРАХ

Ольга Владимировна Дивенко
кандидат сельскохозяйственных наук; доцент
perminova@anc55.ru
https://orcid.org/my-orcid?orcid = 0009-0000-4375-8768

Омский аграрный научный центр,
пр. им. Королева, д. 26, г. Омск, 644012, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Vladimirovna Divenko
Candidate of Agricultural Sciences; Associate Professor
perminova@anc55.ru
https://orcid.org/my-orcid?orcid = 0009-0000-4375-8768

Omsk Agrarian Scientific Center,
26 Korolev Avenue, Omsk, 644012, 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 познакомить со своими товарами и услугами потенциальных клиентов.

Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777-67-67 (доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru

Реклама

УДК 636.2.034

Краткое сообщение

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-93-98

С.А. Олейник ✉

М.Г. Кокотка

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

✉ *soliynik60@gmail.com*

Поступила в редакцию: 16.05.2026
Одобрена после рецензирования: 07.08.2026
Принята к публикации: 21.08.2026

© Олейник С.А., Кокотка М.Г.

Влияние типа телосложения и генотипов бета-казеина (CSN2), каппа-казеина (CSN3) и лактоглобулина (LGB) на молочную продуктивность молочного скота

РЕЗЮМЕ

Применение генетических маркеров в селекции молочного скота является ключевым фактором повышения продуктивности отрасли. Внедрение передовых методов отбора позволяет целенаправленно улучшать поголовье. Особую ценность представляет исследование взаимосвязей между фенотипическими и генетическими признаками, влияющими на синтез ключевых белков молока, — бета-казеина (CSN2), каппа-казеина (CSN3) и лактоглобулина (LGB). Исследование проведено на 114 племенных коровах голштинской породы. У коров лептосомного типа телосложения преобладают генотипы АА гена LGB и А2А2 гена CSN2, у мезосомного типа телосложения чаще встречаются генотипы А1А2 гена CSN2 и АА гена CSN3, у эйрисомного типа телосложения повышено представительство генотипов А1А2 и А2А2 гена CSN2 (44–47%) и равномерно распределены генотипы АА LGB (53,33%). Генотип ВВ по гену LGB во всех типах встречался редко. Продуктивные показатели также варьировали, коровы мезосомного типа показали высокие надои и выход жира при генотипах А1А1 (ген CSN3) и АА (ген LGB), коровы лептосомного типа характеризовались наилучшим выходом жира (22,8–8,1%) и белка (+19,3–5,4%), а также высокими надоями при генотипе АА гена CSN3, наибольшие надои были у коров эйрисомного типа телосложения при генотипах А1А2 и А2А2 (ген CSN3), а максимальный прирост (15,3–20, %, или 1583,5–1582,5 г) при генотипе ВВ гена LGB. Полученные данные имеют практическую значимость для селекционной работы, позволяя целенаправленно отбирать животных с оптимальными сочетаниями генотипов и типов телосложения для повышения молочной продуктивности стада.

Ключевые слова: тип телосложения, ген, голштинская порода, бета-казеин, каппа-казеин, бета-лактоглобулин

Для цитирования: Олейник С.А., Кокотка М.Г. Влияние типа телосложения и генотипов бета-казеина (CSN2), каппа-казеина (CSN3) и лактоглобулина (LGB) на молочную продуктивность молочного скота. *Аграрная наука*. 2026; 410 (09): 93–98. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-93-98

Short communications

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-93-98

Sergey A. Oleinik ✉

Marina G. Kokotka

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

✉ *soliynik60@gmail.com*

Received by the editorial office: 16.05.2026
Accepted in revised: 07.08.2026
Accepted for publication: 21.08.2026

© Oleinik S.A., Kokotka M.G.

The effect of body type and genotypes of beta-casein (CSN2), kappa-casein (CSN3) and lactoglobulin (LGB) on the milk productivity of dairy cattle

ABSTRACT

The use of genetic markers in the selection of dairy cattle is a key factor in increasing the productivity of the industry. The introduction of advanced selection methods allows for the targeted improvement of livestock. Of particular value is the study of the relationships between phenotypic and genetic traits that affect the synthesis of key milk proteins, such as beta-casein (CSN2), kappa-casein (CSN3), and lactoglobulin (LGB). The study was conducted on 114 Holstein breeding cows. In leptosomal cows, the AA LGB gene and A2A2 CSN2 gene genotypes predominate, while in mesosomal cows, the A1A2 CSN2 gene and AA CSN3 gene genotypes are more common, and in eusomic cows, the A1A2 and A2A2 CSN2 gene genotypes are more prevalent (44-47%), while the AA LGB gene genotype is evenly distributed (53.33%). The BB LGB gene genotype was rarely observed in all types. Productive indicators also varied, mesosomal type cows showed high milk yields and fat yields with genotypes A1A1 (CSN3 gene) and AA (LGB gene), leptosomal type cows were characterized by the best fat yields (22.8–8.1%) and protein (+19.3–5.4%), as well as high milk yields with genotype AA of the CSN3 gene, the highest yields were in cows of the aisome body type with genotypes A1A2 and A2A2 (CSN3 gene), and the maximum increase (15.3–20.9%, or 1583.5–1582.5 kg) with genotype BB of the LGB gene. The obtained data are of practical significance for breeding work, allowing for targeted selection of animals with optimal combinations of genotypes and body types to increase the milk productivity of the herd.

Key words: body type, gene, Holstein breed, beta-casein, kappa-casein, beta-lactoglobulin

For citation: Oleynik S.A., Kokotka M.G The effect of body type and genotypes of beta-casein (CSN2), kappa-casein (CSN3) and lactoglobulin (LGB) on the milk productivity of dairy cattle. *Agrarian science.* 2026; 410 (09): 93–98 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-93-98

Введение/Introduction

Развитие молочного скотоводства требует применения передовых методов отбора и селекции животных, основанных на генетических маркерах, которые позволяют повысить продуктивность скота. Особую значимость приобретает изучение взаимосвязей между фенотипическими характеристиками животных и полиморфизмом генов, кодирующих ключевые белки молока — бета-казеин (CSN2), каппа-казеин (CSN3) и лактоглобулин (LGB) [1–3].

Ген CSN2 кодирует бета-казеин (38% от общего казеина в молоке). У голштинских коров распространены аллели А1 и А2, различающиеся аминокислотой в 67-й позиции: гистидин (А1) и пролин (А2). В селекции коров ориентируются на получение генотипа А2А2. Частота встречаемости генотипов составила: А1А1 — 15%, А1А2 — 41%, А2А2 — 44%. Частота встречаемости аллеля генотипа А2 составила — 0,641, А1 — 0,359, при этом генотип А2А2 характеризуется повышенным коммерческим интересом. Есть данные о связи генотипа А2 с содержанием жира и белка в молоке, но подтверждение влияния аллелей на молочную продуктивность у коров требует дальнейших исследований [4–7]. Ген CSN3 кодирует каппа-казеин (12% от общего казеина в молоке). У КРС распространены аллели А и В, различающиеся аминокислотами в позициях 136 и 148: аллель А содержит треонин и аспартат, аллель В — изолейцин и аланин. У голштинских коров преобладает аллель А (частота 0,740 у канадских и 0,834 у венгерских коров). Наиболее распространенный генотип — гетерозиготный АВ (около 46,7%). Аллель В связана с повышенным содержанием белка в молоке, быстрым свертыванием под действием сычужного фермента, лучшим качеством творожного сгустка и более высоким удоем у коров с генотипом $CSN3^{BB}$ [8–10]. Бета-лактоглобулин — сывороточный белок молока, влияющий на его состав и технологические свойства. LGB расположен на 11-й хромосоме крупного рогатого скота, состоит из 7 экзонов и 6 интронов, его общая длина — 4662 пары нуклеотидов, представляет собой глобулярный белок из одной полипептидной цепи, включающей 162 аминокислотных остатка. У коров голштинской породы распространены два аллеля гена LGB — А и В, различающиеся по аминокислотному составу: в позиции 64 аллель А содержит аспарагиновую кислоту, а аллель В — глицин; в позиции 118 аллель А содержит валин, а аллель В — аланин [11].

Влияние типа телосложения животных и генотипов генов на их продуктивность способствует формированию комплексных селекционных программ, направленных на получение высокопродуктивных особей, адаптированных к окружающей среде [12].

Определение ассоциаций между полиморфизмом данных генов и молочной продуктивностью позволяет более точно прогнозировать продуктивный потенциал животных и оптимизировать селекционные стратегии. Исследования показывают, что указанные гены оказывают значительное влияние на молочную продуктивность животных [13-15].

Данная тема актуальна для повышения эффективности молочного производства и достижения устойчивого развития отрасли. В ходе исследования предполагается проанализировать взаимосвязь типов телосложения и генотипов генных маркеров белковых структур у молочного скота, а также их влияние на молочную продуктивность, что может способствовать более целенаправленному использованию генетических ресурсов в селекции.

Целью исследования является анализ влияния типа телосложения и полиморфизма генов CSN2, CSN3 и LGB на молочную продуктивность крупного рогатого скота.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование проведено на 114 коровах первой законченной лактации, из племенного завода, расположенного в Ставропольском крае Российской Федерации.

Животные были разделены на три группы по типу телосложения (лептосомный, мезосомный и эйрисомный)[1], ориентируясь на средний показатель обхвата груди за лопатками.

Все экспериментальные процедуры выполнялись с соблюдением международных и российских нормативных требований, включая Директиву Европейского парламента и Совета ЕС № 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года[2], регламентирующую защиту животных, задействованных в научных исследованиях, а также положений ст. 4 Федерального закона Российской Федерации № 498ФЗ[3], определяющих принципы обращения с животными.

Биологический материал для генетического анализа получали путем забора цельной крови из яремной вены коров в вакуумные пробирки, содержащие антикоагулянт ЭДТА.

Выделение ДНК осуществляли с использованием коммерческого набора «МСорбКровь» (ООО «НПФ Синтол», Россия) в Лаборатории молекулярногенетической экспертизы[4] ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ (Ставрополь, Россия).

Генотипирование образцов по генам LGB, CSN3 и CSN2 проводили методом полимеразной цепной

[1] ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей
[2] https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf
[3] Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
[4] Свидетельство о регистрации в государственном племенном регистре серии ПЖ 77, № 010649 от 03.04.2023

реакции в режиме реального времени (ПЦРРВ) в условиях Геномного центра (ООО «МираторгГенетика», Москва, Россия).

Отбор проб молокасырья выполняли индивидуально от каждой коровы в ходе контрольных доений. Работу проводили специалисты ассистентской службы ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ»[5] в строгом соответствии с ГОСТ Р ИСО 707-2013[6] и Рекомендацией Коллегии ЕЭК от 21 ноября 2023 года № 34[7].

Анализ массовой доли жира и белка в отобранных пробах молока выполняли на инфракрасном анализаторе Милкоскан «Марс» (FOSS, Дания) в Лаборатории селекционного контроля качества молока ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ»[8], руководствуясь требованиями ГОСТ 322552013[9].

Показатели молочной продуктивности — суточный удой и содержание жира и белка в молоке рассчитывали, как среднее арифметическое по результатам ежемесячных контрольных доек.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel (США). Для сравнения средних значений показателей молочной продуктивности между группами генотипов использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при * — $p < 0,05$.

Таблица 1. **Распределение генотипов CSN2, CSN3 и LGB по типам телосложения у коров голштинской породы, %**
Table 1. **Distribution of CSN2, CSN3, and LGB genotypes by body type in Holstein cows, %**

Ген	Генотип	Типы телосложения					
		Лептосомный (n = 39)		Мезосомный (n = 45)		Эйрисомный (n = 30)	
		Кол-во, гол	%	Кол-во, гол	%	Кол-во, гол	%
CSN2	A1A1	3	7,69	4	8,89	3	10,00
	A1A2	16	41,03	22	48,89	13	43,33
	A2A2	20	51,28	19	42,22	14	46,67
CSN3	AA	6	15,38	4	8,89	7	23,33
	AB	18	46,15	21	46,67	6	20,00
	AE	8	20,51	10	22,22	8	26,67
	BB	3	7,69	6	13,33	6	20,00
	BE	4	10,26	4	8,89	3	10,00
LGB	AA	22	56,41	22	48,89	16	53,33
	AB	15	38,46	20	44,44	12	40,00
	BB	2	5,13	3	6,67	2	6,67

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты исследований (табл. 1) позволили выявить взаимосвязь между типом телосложения коров и распределением генотипов по ряду ключевых генов, влияющих на их молочную продуктивность.

Более высокий процент поголовья с генотипами AA гена LGB (56,41%) и генотипа A2A2 (51,28%) гена CSN2 отмечен у коровы лептосомного типа телосложения. У животных с мезосомным типом телосложения наблюдается преобладание генотипа A1A2 (48,89%) гена CSN2 и генотипа AA (48,89%) гена LGB. У животных с эйрисомным типом телосложения наблюдается более высокий процент генотипа AA гена LGB (53,33%) и относительно равномерным распределением генотипов A1A2 и A2A2 гена CSN2 (44-47%). Животных с генотипом BB (5-6%) (LGB) было меньше по поголовью во всех типах телосложения.

Нормированное распределение по Гауссу исследуемой выборки позволило сформировать три группы животных по типам телосложения. Соотношение показателей молочной продуктивности с типами телосложения показало наличие статистически достоверных различий (табл.2).

Анализ результатов исследований показал (табл. 2), что коровы с генотипом A1A1 гена CSN3

Таблица 2. **Влияние генотипов CSN2, CSN3 и LGB на молочную продуктивность и типа телосложения голштинского скота, M ± m**
Table 2. **Effect of CSN2, CSN3, and LGB genotypes on milk production and body type of Holstein cattle, M ± m**

Ген	Генотип	Типы телосложения								
		Лептосомный[1] (n = 39)			Мезосомный[2] (n = 45)			Эйрисомный[3] (n = 30)		
		Удой, кг	Выход молочного жира, кг	Выход молочного белка, кг	Удой, кг	Выход молочного жира, кг	Выход молочного белка, кг	Удой, кг	Выход молочного жира, кг	Выход молочного белка, кг
CSN2	A1A1	6118 ± 297,65	206,64 ± 25,48	193,28 ± 19,89	6471,75 ± 302,89	267,88 ± 8,61*1	201,75 ± 10,21	6252 ± 248,29	248,91 ± 14,56	200,69 ± 8,48
	A1A2	6870,31 ± 231,33	281,06 ± 11,67	217,31 ± 8,26	7175,82 ± 217,33	273,82 ± 12,37	227,01 ± 7,42	7317,31 ± 218,83	273,75 ± 13,38	225,49 ± 7,07
	A2A2	7509,75 ± 260	286,22 ± 15,45	237,3 ± 8,87	7531,63 ± 270,81	300,32 ± 11,22	238,22 ± 8,82	7570,64 ± 356,55	295,27 ± 14,94	241,36 ± 12,32

[5] Госрегистрация в племенном регистре РФ № 262704901000, Свидетельство о регистрации в государственном племенном регистре серия ПЖ 77 № 010821
[6] ГОСТ Р ИСО 707-2013 Молоко и молочные продукты. Руководство по отбору проб
[7] Рекомендация Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21 ноября 2023 года № 34 «Об унифицированных подходах к учету молочной продуктивности и проведению лабораторного контроля качества молока крупного рогатого скота молочного направления продуктивности»
[8] Свидетельство ПЖ 77, № 011667, Приказ Минсельхоза РФ № 792 от 24.11.2021, госрегистрация № 262704801000
[9] ГОСТ 32255-2013 Молоко и молочные продукты. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора

Таблица 2. Продолжение.

Ген	Генотип	Типы телосложения								
		Лептосомный[1] (n = 39)			Мезосомный[2] (n = 45)			Эйрисомный[3] (n = 30)		
		Удой, кг	Выход молочного жира, кг	Выход молочного белка, кг	Удой, кг	Выход молочного жира, кг	Выход молочного белка, кг	Удой, кг	Выход молочного жира, кг	Выход молочного белка, кг
CSN3	AA	8244,5 ± 399,55*2	339,78 ± 21,7*2	270,26 ± 14,5*2	7158,55 ± 281,54	276,81 ± 12,71	226,65 ± 9,31	8125,29 ± 345,81*2	314,25 ± 23,13*2	256,42 ± 13,52*2
	AB	7314,39 ± 243,42	272,38 ± 14,45	225,93 ± 7,44	7385,57 ± 207,48	298,19 ± 11,13	235,74 ± 6,49	7040,83 ± 480,96	285,63 ± 21,81	228,07 ± 18,67
	AE	6563,13 ± 288,46	265,44 ± 19,43	213,41 ± 10,37	6789,6 ± 399,48	257,03 ± 18,32	213,02 ± 13,67	6913,5 ± 314,53	255,38 ± 15,99	208,63 ± 7,95
	BB	6651 ± 586,14	253,42 ± 16,11	211,93 ± 10,29	6903 ± 411,56	269,12 ± 19,05	215,31 ± 13,84	7517,5 ± 583,39	284,83 ± 15,84	238,64 ± 17,52
	BE	6222,5 ± 590,88	254,06 ± 34,76	192,85 ± 27,87	7013,5 ± 358,32	261,58 ± 11,96	216,05 ± 8,82	6778,33 ± 143,17	257,90 ± 22,57	216,06 ± 2,93
LGB	AA	6891,14 ± 240,08	266,73 ± 13,33	221,87 ± 8,38	7105,44 ± 221,04	279,12 ± 9,42	222,2 ± 7,3	6991,56 ± 237,85	275,54 ± 11,98	218,83 ± 8,02
	AB	7455,8 ± 297,35	290,99 ± 15,99	228,56 ± 9,94	7337,85 ± 189,38	289,63 ± 230,09	230,09 ± 6,61	7480,5 ± 314,75	277,81 ± 12,32	236,20 ± 9,69
	BB	7516 ± 232	304,21 ± 27,62	246,77 ± 23,78	7537 ± 451,17	306,36 ± 3,06	246,51 ± 6,61	9119,5 ± 237,5*1,2	348,44 ± 78,33	288,37 ± 41,27

Примечание: * — $p < 0,05$

с мезосомным типом телосложения характеризовались более высоким надоем молока, этот показатель у них был выше на 5,8–2,2%, чем у коров лептосомного и эйрисомного типов телосложения. У коров с мезосомным типом телосложения выход жира был на 29,7–20,5% выше, чем у коров с лептосомным и эйрисомным типами телосложения ($p < 0,05$). По выходу молочного белка коровы мезосомного типа телосложения превосходили животных лептосомного и эйрисомного типов телосложения на 0,5–4,4%. У коров с генотипом A1A2 эйрисомного типа телосложения надой молока был выше на 6,51–1,97%, чем у коров с лептосомным и мезосомным типом телосложения ($p < 0,05$). Коровы с эйрисомным типом телосложения и генотипом A2A2 также характеризовались более высоким надоем молока на 0,81–0,52%, чем коровы с лептосомным и мезосомным типом телосложения.

Коровы лептосомного типа телосложения с генотипом AA гена CSN3 превосходили по надою коров мезосомного и эйрисомного типов телосложения, их разница составила 15,2–1,4% ($p < 0,05$). У коров лептосомного типа телосложения также наблюдались более высокие показатели по выходу жира молока на 22,8–8,1% относительно мезосомного и эйрисомного типов телосложения ($p < 0,05$), а по выходу молочного белка коровы лептосомного типа телосложения выше на 19,3–5,4% относительно тех же типов телосложения ($p < 0,05$). Коровы мезосомного типа телосложения с генотипом AB гена CSN3 характеризовались надоем, превышающим показатели коров лептосомного и эйрисомного типов телосложения на 71,18–344,74 кг или 1–4,7%. У коров мезосомного типа телосложения выход молочного жира был на 25,81–12,56 кг или 9,5–4,2% выше, чем у коров лептосомного и эйрисомного типов телосложения, а также выход молочного белка был выше на 9,81–3,2 кг (4,3–3,2%) относительно лептосомного и эйрисомного типов телосложения. Коровы эйрисомного типа с генотипом AE показали высокий надой, который был выше на 123,9 кг (1,8%) и на 350,37 кг (5,3%), чем у коров мезосомного и лептосомного типов телосложения. У коров лептосомного типа выход жира был выше на 8,41–10,06 кг или на 3,17–3,8%, чем у коров мезосомного и эйрисомного типов телосложения. У коров лептосомного типа выход белка был выше на 0,39–4,78 г или на 0,18–2,24%, чем у коров мезосомного и эйрисомного типов телосложения. Коровы эйрисомного типа телосложения с генотипом BB гена CSN3 характеризовались высоким надоем, который выше, чем у коров лептосомного и мезосомного типов телосложения на 614,5–866,5 кг или 8,9–13%. У коров эйрисомного типа телосложения отмечены повышенные показатели по выходу жира молока на 15,71–31,41 кг или 5,8–12,4% относительно лептосомного и мезосомного типов телосложения и по выходу молочного белка на 23,33–26,71 кг (10,8–12,6%) в сравнении с мезосомным и лептосомным типами телосложения. Коровы мезосомного типа с генотипом BE показали высокий надой, который на 791–235 кг или на 12,7–3,4% выше, чем у коров лептосомного и эйрисомного типов телосложения. У коров мезосомного типа телосложения выход жира был выше на 7,52–3,68 кг или на 2,9–1,4%, чем у коров лептосомного и эйрисомного типов телосложения. По выходу белка коровы мезосомного и эйрисомного типов телосложения превосходят коров лептосомного типа на 12%.

Коровы мезосомного типа с генотипом AA гена LGB характеризовались высоким надоем молока, этот показатель был выше на 3–1,6%, чем у животных лептосомного и эйрисомного типов телосложения. При этом у коров мезосомного типа телосложения выход жира молока был выше на 12,39–3,58 кг, чем у эйрисомного и лептосомного

типов телосложения, а выход молочного белка оказался ниже на 1,22–8,68 кг по сравнению с коровами мезосомного и лептосомного типов телосложения. Коровы эйрисомного типа телосложения с генотипом АВ гена LGB имели удой на 46,65–142,65кг (0,57–1,94%) выше, чем животные лептосомного и мезосомного типов телосложения. У коров лептосомного типа телосложения выход жира молока превышал показатели мезосомного и эйрисомного типов телосложения на 1,36–13,18 кг, выход молочного белка был выше у коров эрийсомного типа на 6,11–7,64 кг в сравнении с коровами мезосомного и лептосомного типов телосложения. У коров эйрисомного типа телосложения с генотипом ВВ гена LGB был более высокий удой на 1583,5–1582,5 кг (15,3–20,9%, $p < 0,05$) относительно лептосомного и мезосомного типов телосложения. Выход жира молока у коров с эйрисомным типом телосложением был на 44,23–42,08 кг или на 14,5–13,7% выше, чем у коров с лептосомным и мезосомным телосложение. Выход молочного белка у коров с эйрисомным телосложением был выше на 41,6–41,86 кг или на 16,8–16,9% по сравнению с коровами мезосомного и лептосомного типов телосложения.

Выводы/Conclusion

Результаты исследования показывают, что тип телосложения оказывает значительное влияние на молочную продуктивность молочного скота. Распределение генотипов у коров различается в зависимости от типа телосложения. Среди животных лептосомного типа выявлена наибольшая доля особей с генотипом АА гена LGB (56,41%) и генотипом А2А2 гена CSN2 (51,28%). В группе мезосомного телосложения доминируют коровы с генотипом А1А2 гена CSN2 (48,89%) и генотипом АА гена CSN3 (48,89%). Для эйрисомного типа характерно повышенное содержание генотипа АА гена LGB (53,33%) и относительно равномерное распределение генотипов А1А2 и А2А2 гена CSN2 (44–47%). При этом генотип ВВ гена LGB встречается редко (5–6%) во всех исследуемых группах независимо от типа телосложения.

Коровы мезосомного типа телосложения показали высокие надои и выход жира при генотипах А1А1 (ген CSN3) и АА (ген LGB). Коровы лептосомного типа характеризовались наилучшим выходом жира на 22,8–8,1% и белка на 19,3–5,4%, а также высокими надоями при генотипе АА гена CSN3. Наибольшие надои были у коров эйрисомного типа телосложения при генотипах А1А2 и А2А2 (ген CSN3), при генотипе ВВ (ген LGB), где прирост надоев достигает 15,3–20,9% или 1583,5–1582,5 кг, наряду с высоким выходом жира и белка.

Данное исследование подтверждает, что тип телосложения является важным фактором, определяющим молочную продуктивность молочного скота. Полученные результаты могут быть использованы для разработки более эффективных селекционных программ, учитывающих как фенотипические признаки, так и генетические особенности 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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках реализации субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 25 апреля 2024 г. № 082-03-2024-220/3

FUNDING

The research was carried out as part of the implementation of a subsidy from the federal budget for financial support of the state assignment for the provision of public services (performance of work) dated April 25, 2024 No. 082-03-2024-220/3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Худякова Н.А., Кудрина М.А., Ступина А.О., Гинтов В.В., Селькова И.В., Токарчук Т.А. Генетические маркеры молочной продуктивности крупного рогатого скота (обзор). *Эффективное животноводство*. 2022; (6): 74–77. https://doi.org/10.24412/cl-33489-2022-6-74-77
2. Парыгина Е.В. *и др.* Ассоциация генотипов коров холмогорской породы по бета-казеину с молочной продуктивностью. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(6): 877–883. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883
3. Мартынова Е.Н., Кислякова Е.М., Исупова Ю.В. Влияние генов молочных белков на показатели продуктивности коров голштинской породы. *Аграрный научный журнал*. 2026; (1): 65–72. https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp65-72
4. Корнелаева М.В., Карликова Г.Г., Сермягин А.А. Влияние генотипа по гену *CSN2* на качественные и количественные характеристики молока коров голштинской породы. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024; (8). https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2
5. Кощаев А.Г., Гырнец Е.А. Частота встречаемости генотипов гена бета-казеина в популяции черно-пестрой голштинизированной породы крупного рогатого скота. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021; 93: 310–314. https://doi.org/10.21515/1999-1703-93-310-314
6. Bisutti V. *et al.* The β-casein (*CSN2*) A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(5): 3794–3809. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21537
7. Олейник С.А., Лесняк А.В. Полиморфизм гена бета-казеина у крупного рогатого скота джерсейской породы в Ставропольском крае. *Аграрная наука*. 2025; (7): 107–113. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113
8. Богатова П.С., Лиходеевская О.Е., Лиходеевский Г.А., Лоретц О.Г., Зулаева А.С. Аллельное разнообразие бета- и каппа-казеинов крупного рогатого скота голштинской породы Свердловской области. Аграрная наука. 2025; (4): 101–107. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107

REFERENCES

1. Khudyakova N.A., Kudrina M.A., Stupina A.O., Gintov V.V., Sel'kova I.V., Tokarchuk T.A. Genetic markers of dairy productivity in cattle (review). Effektivnoye zhivotnovodstvo. 2022; (6): 74–77 (in Russian). https://doi.org/10.24412/cl-33489-2022-6-74-77
2. Parygina E.V. *et al.* Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(6): 877–883 (in Russian). https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883
3. Martynova E.N., Kislyakova E.M., Isupova J.V. The effect of milk protein genes on the productivity of Holstein cows. *Agrarian Scientific Journal*. 2026; (1): 65–72 (in Russian). https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp65-72
4. Kornelaeva M.V., Karlikova G.G., Sermyagin A.A. Influence of *CSN2* genotype on qualitative and quantitative characteristics of Holstein cows' milk. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024; (8) (in Russian). https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2
5. Koshchaev A.G., Gyrnets E.A. Occurrence of beta-casein genotypes in the population of black-and-white Holstein dairy cattle. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2021; 93: 310–314 (in Russian). https://doi.org/10.21515/1999-1703-93-310-314
6. Bisutti V. *et al.* The β-casein (*CSN2*) A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(5): 3794–3809. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21537
7. Oleinik S.A., Lesnyak A.V. Beta-casein gene polymorphism in Jersey cattle in the Stavropol region. *Agrarian science*. 2025; (7): 107–113 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113
8. Bogatova P.S., Lihodeevskaya O.E., Lihodeevskiy G.A., Loretts O.G., Zulaeva A.S. Allelic diversity of beta- and kappa-caseins in Holstein cattle of the Sverdlovsk region. *Agrarian science*. 2025; (4): 101–107 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107

9. Калашникова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Багаль И.Е., Ялуга В.Л., Прожерин В.П. Оценка полиморфизма комплексных генотипов *CSN3*, *LGB*, *PRL*, *GH*, *LEP* и молочной продуктивности у холмогорских коров. *Молочное и мясное скотоводство.* 2019; (2): 14–17. EDN ZWHMTW

10. Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Ступина А.О., Классен И.А., Калмыкова М.С. Влияние комплексных генотипов генов *CSN2*/*CSN3* на хозяйственно полезные признаки коров холмогорской породы. *Вестник НГАУ*. 2025; (2): 254–262. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2025-75-2-254-262

11. Сафина Н.Ю., Зиннатова Ф.Ф., Юльметьева Ю.Р., Шакиров Ш.К., Ахметов Т.М., Гайнутдинова Э.Р. Полиморфизм гена ß-лактоглобулина (*LGB*) и его взаимосвязь с экономически важными признаками голштинского скота. *Достижения науки и техники АПК*. 2018; 32(9): 78–80. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10918

12. Парамонова М.А., Валитов Ф.Р. Роль генов каппа-казеина (*CSN3*), бета-казеина (*CSN2*), бета-лактоглобулина (*BLG*) и альфа-лактальбумина (*LALBA*) в формировании молочной продуктивности коров черно-пестрой породы. *Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2025; 262: 105–110. EDN KSZCZJ

13. Олейник С.А., Злыднев Н.З., Лесняк А.В. Продуктивность коров джерсейской породы в зависимости от их типа телосложения. *Аграрный вестник Северного Кавказа.* 2024; (1): 27–31. https://doi.org/10.31279/2949-4796-2024-1-53-27-31

14. Amalfitano N., Macedo Mota L.F., Rosa G.J.M., Cecchinato A., Bittante G. Role of *CSN2*, *CSN3*, and *BLG* genes and the polygenic background in the cattle milk protein profile. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(7): 6001–6020. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21421

15. Горелик О.В., Горелик А.С., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Оценка влияния генотипа по голштинской породе на продуктивные качества коров. *Аграрная наука*. 2025; (2): 101–107. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-101-107

ОБ АВТОРАХ

Сергей Александрович Олейник
доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
soliynik60@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-6003-4777

Марина Геннадьевна Кокотка
аспирант
mkokotka@mail.ru
https://orcid.org/0009-0008-5939-6915

Ставропольский государственный аграрный университет,
пер. Зоотехнический, 12, Ставрополь, 355017, Россия

9. Kalashnikova L.A., Khabibrakhmanova Ya.A., Bagal I.E., Yaluga V.L., Progerin V.P. Assessment of polymorphism of complex genotypes *CSN3*, *LGB*, *PRL*, *GH*, *LEP* and dairy productivity in Kholmogory cows. *Dairy and beef cattle farming*. 2019; (2): 14–17 (in Russian). EDN: ZWHMTW

10. Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Stupina A.O., Klassen I.A., Kalmykova M.S. Influence of complex genotypes of *CSN2*/*CSN3* genes on economically useful traits of Holmogor cows. *Vestnik NSAU*. 2025; (2): 254–262 (in Russian). https://doi.org/10.31677/2072-6724-2025-75-2-254-262

11. Safina N.Yu., Zinnatova F.F., Yulmeteva Yu.R., Shakirov Sh.K., Akhmetov T.M., Gaynutdinova E.R. Polymorphism of Beta-Lactoglobulin Gene (*LGB*) and Its Association with Economically Important Traits of Holstein Cattle. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2018; 32(9): 78–80 (in Russian). https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10918

12. Paramonova M.A., Valitov F.R. The role of kappa-casein (*CSN3*), beta-casein (*CSN2*), beta-lactoglobulin (*BLG*) and alpha-lactalbumin (*LALBA*) genes in the formation of milk productivity of Black-and-White cows. *Scientific Notes Kazan Bauman Academy of Veterinary Medicine*. 2025; 262: 105–110 (in Russian). EDN KSZCZJ

13. Oleinik S.A., Zlydnev N.Z., Lesnyak A.V. Productivity of Jersey cows depending on their body type. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2024; (1): 27–31 (in Russian). https://doi.org/10.31279/2949-4796-2024-1-53-27-31

14. Amalfitano N., Macedo Mota L.F., Rosa G.J.M., Cecchinato A., Bittante G. Role of *CSN2*, *CSN3*, and *BLG* genes and the polygenic background in the cattle milk protein profile. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(7): 6001–6020. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21421

15. Gorelik O.V., Gorelik A.S., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Assessment of the effect of the Holstein breed genotype on the productive qualities of cows. *Agrarian science*. 2025; (2): 101–107 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-101-107

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Alexandrovich Oleinik
Doctor of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
soliynik60@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-6003-4777

Marina Gennadevna Kokotka
Postgraduate student
mkokotka@mail.ru
https://orcid.org/0009-0008-5939-6915

Stavropol State Agrarian University,
12 Zootekhnicheskiy Lane, Stavropol, 355017, Russia

УДК 636.5.082:637.4

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-99-108

Т.В. Шишкина [1]
В.И. Косилов[2] ✉
Ю.А. Юлдашбаев[3]
Р.Г. Калякина[2]
Е.А. Никонова[2]
Б.Т. Кадралиева[4]
М.В. Калашников[5]

[1]Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

[2]Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

[3]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва Россия

[4] Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

[5] Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

✉ *kosilov_vi@bk.ru*

Поступила в редакцию: 11.03.2026
Одобрена после рецензирования: 07.08.2026
Принята к публикации: 21.08.2026

© Шишкина Т.В., Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Калякина Р.Г., Никонова Е.А., Кадралиева Б.Т., Калашников М.В.

Сравнительный анализ яичной продуктивности родительского стада кур мясных кроссов Ross 308 и Смена 9 в условиях промышленного птицеводства

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В промышленном птицеводстве эффективность производства мяса бройлеров определяется генетическим потенциалом используемых кроссов. Сравнительная оценка яичной продуктивности родительских стад отечественных и зарубежных кроссов в конкретных производственных условиях необходима для оптимизации технологических решений.

Материалы и методы. Научно-производственный опыт выполнен в 2024–2025 гг. на базе птицефабрики Пензенской области. Изучали родительское стадо кур кроссов Росс 308 (8870 курочек, 756 петушков) и Смена 9 (9060 курочек, 1020 петушков). Оценивали сохранность, живую массу, яйценоскость, выход инкубационного яйца, оплодотворяемость, вывод цыплят и экономическую эффективность. Условия содержания и кормления соответствовали зоотехническим нормативам.

Результаты. Сохранность курочек Росс 308 превышала показатель кросса Смена 9 на 6,0%, тогда как сохранность петушков Смена 9 была выше на 14,2%. Средняя яйценоскость Росс 308 оказалась выше на 17,9%. Оплодотворяемость и вывод цыплят были выше у кросса Смена 9 на 4,8% и 6,5% соответственно. В расчете на начальную несушку от Росс 308 получено на 57,0 инкубационных яиц и 34,3 суточных цыпленка больше. Рентабельность производства инкубационного яйца и цыплят у Росс 308 составила 44,6% и 111,6%, что выше на 32,3% и 37,5% соответственно. Рекомендовано использование родительского стада кросса Росс 308.

Ключевые слова: птицеводство, родительское стадо, кросс, содержание, сохранность, живая масса, яйценоскость, оплодотворяемость, выход

Для цитирования: Шишкина Т.В. *и др.* Сравнительный анализ яичной продуктивности родительского стада кур мясных кроссов Росс 308 и Смена 9 в условиях промышленного птицеводства. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 99–108. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-99-108

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-99-108

Tatiana V. Shishkina[1]
Vladimir I. Kosilov[2] ✉
Yusupzhan A. Yuldashbaev[3]
Railya G. Kalyakina[2]
Elena A. Nikonova[2]
Bakytkanym T. Kadralieva[4]
Maxim V. Kalashnikov[5]

[1]Penza State Agrarian University, Penza, Russia

[2]Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

[3] Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

[4]Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan

[5] Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

✉ *kosilov_vi@bk.ru*

Received by the editorial office: 11.03.2026
Accepted in revised: 07.08.2026
Accepted for publication: 21.08.2026

© Shishkina T.V., Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Kalyakina R.G., Nikonova E.A., Kadralieva B.T. Kalashnikov M.V.

Comparative analysis of egg productivity in the parent flock of meat-type crosses Ross 308 and Smena 9 under industrial poultry farming conditions

ABSTRACT

Relevance. In commercial poultry farming, the efficiency of broiler meat production is determined by the genetic potential of the crosses used. A comparative assessment of egg productivity in parent flocks of domestic and foreign crosses under specific production conditions is essential for optimizing technological decisions.

Materials and Methods. The research and production trial was conducted in 2024–2025 at a poultry farm in Penza Oblast, Russian Federation. Parent flocks of Ross 308 (8,870 hens, 756 cockerels) and Smena 9 (9,060 hens, 1,020 cockerels) crosses were studied. The following parameters were evaluated: survival rate, live weight, egg production, hatching egg yield, fertility, hatchability, and economic efficiency. Housing and feeding conditions complied with zootechnical standards.

Results. The survival rate of Ross 308 hens exceeded that of Smena 9 by 6.0%, while the survival rate of Smena 9 cockerels was 14.2% higher. Average egg production of Ross 308 was 17.9% higher. Fertility and hatchability were superior in Smena 9 by 4.8% and 6.5%, respectively. Per initial hen, the Ross 308 parent flock produced 57.0 more hatching eggs and 34.3 more day-old chicks. The profitability of hatching egg and chick production in Ross 308 was 44.6% and 111.6%, respectively, exceeding that of Smena 9 by 32.3% and 37.5%. The use of the Ross 308 parent flock is recommended.

Key words: poultry farming, parent flock, cross, maintenance, safety, live weight, egg production, fertility, yield

For citation: Kosilov V.I. *et al.* Comparative analysis of egg productivity in the parent flock of meat-type crosses Ross 308 and Smena 9 under industrial poultry farming conditions. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 99–108 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-99-108

Введение/Introduction

Птицеводство — наиболее динамичная отрасль агропромышленного комплекса, характеризующаяся быстрыми темпами воспроизводства поголовья, интенсивным ростом, высокой продуктивностью и жизнеспособностью птицы, наименьшими затратами живого труда и материальных средств на единицу продукции [1–4].

В настоящее время отечественный рынок птицепродукции близок к насыщению. Положительной динамике развития этой отрасли способствует также государственная политика импортозамещения, важность которой неоднократно отмечал в своих докладах президент Российского птицеводческого союза, академик РАН В.И. Фисинин. Согласно его данным, Россия в 2000 г. занимала 20-е место в мире по производству мяса птицы, а в 2014 г. — уже четвертое, после США, Китая и Бразилии. В первом полугодии 2025 года объем производства мяса всех видов в России увеличился на 0,6%, достигнув 5,76 млн. т в убойном весе. Этот рост стал возможен благодаря увеличению производства мяса птицы, в то время как объемы других видов мяса снизились [5–8].

В настоящее время промышленное производство птицеводческой продукции невозможно без высокопродуктивных кроссов, качественных кормов, высокотехнологичного оборудования для выращивания птицы и переработки продукции, ветеринарных препаратов для обеспечения эпизоотического благополучия хозяйств [9–12].

Развитие птицеводства как отрасли АПК в современных реалиях невозможно без использования научных знаний и современных технологий содержания птицы. Эффективность производства и качество продукции птицеводства зависят от ряда факторов, которые связаны с технологией содержания [13–16] и кормления птицы [17–19], ее здоровьем и переработкой полученной продукции [20–24].

Все технологические этапы производства — от суточного цыпленка до яйца и мясной продукции — тесно взаимосвязаны [25].

Рост производства мяса бройлеров во многом определяется племенной работой, направленной на создание высокопродуктивных кроссов и их постоянное совершенствование, а также условиями полноценного и сбалансированного кормления и внедрением новых ресурсосберегающих и эффективных технологий [26–30]. При этом особенно важно конструировать специальные сочетающиеся отцовские и материнские линии, кроссирование которых обусловливает эффект гетерозиса у финального гибрида — бройлера. [18–34].

Одно из основных направлений дальнейшего развития мясного птицеводства — это селекция на повышение скорости роста молодняка в раннем возрасте. В связи с этим основные задачи — получить бройлеров, способных за 5–6 недель откорма достигать живой массы 2,5 кг и более при затратах корма 1,5–1,7 кг на 1 кг прироста и сохранности 98,0–98,5%; довести выход грудных мышц до 19–21%, выход потрошеной тушки до 70,0–71,5% и более, выход бройлеров в расчете на несушку родительского стада до 152–165 голов.

В бройлерном птицеводстве Пензенской области в основном используются кроссы Смена 9 и Росс 308.

Кросс Смена-9 — отечественный гибрид мясной птицы — выведен сотрудниками ВНИТИП[1] РАН вместе с селекционно-генетическим центром «Смена». Получен путем скрещивания четырех линий[2].

Кросс Росс 308 выведен селекционерами из английской компании Aviagen. Для выведения данной разновидности бройлера селекционеры скрещивали несколько пород кур мясного направления [3, 4].

Кросс Смена 9 и Росс 308 — это сильный, быстрорастущий бройлер, имеющий высокие мясные показатели. Для птицы характерен быстрый рост, высокий показатель выхода чистого мяса, неприхотливость к корму и условиям содержания, высокая выживаемость цыплят, устойчивость к заболеваниям. Это быстрорастущая птица с высоким выходом грудных мышц и меньшим содержанием жира, высокой конверсией корма и однородностью поголовья.

Исследования по изучению продуктивности птицы данных кроссов на птицеводческих площадках региона мало изучены, поэтому была проведена оценка яичной продуктивности кур родительского стада двух кроссов Смена 9 и Росс 308, которые широко используются в разведении и производстве мяса бройлеров.

В соответствии с целями были поставлены следующие задачи: провести оценку условий содержания родительского стада (нагрузку на кормушку и поилку, плотность посадки стада и нагрузку на гнездо); провести оценку и сравнение производственных показателей (процент сохранности, живую массу, яйценоскость стада, выход инкубационного яйца, оплодотворенность яиц, вывод цыплят, производство инкубационных яиц и суточных цыплят на начальную несушку); сформулировать соответствующие выводы и предложения.

Материал и методы исследования / Material and methods

Научно-производственный опыт проведен в условиях ЦРС «Вертуновский» АО «Васильевская птицефабрика» Бековского района Пензенской области Российской Федерации.

[1] Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Российской академии наук (Сергиев Посад, Россия)
[2] Руководство по работе с птицей мясного кросса Смена 9 с аутосексной материнской формой разработано авторским коллективом: Д.Н. Ефимов, А.В. Егорова, Ж.В. Еманyйлова, А.В. Иванов, А.П. Коноплева, А.А. Зотов, В.С. Лукашенко, А.А. Комаров, И.А. Егоров, Т.А. Егорова, Е.Ю. Байковская, В.А. Манукян, И.П. Салеева, А.Ш. Кавтарашвили, С.В. Смолов. Под общей редакцией академика РАН В.И. Фисинина.
[3] Справочник по выращиванию бройлеров ROSS, 2018
[4] Справочник по содержанию родительского стада ROSS, 2018

Предприятие является одной из самых крупных площадок по содержанию родительского стада в Европе. Производственная мощность превышает 450 тысяч голов несушек при полной загруженности производственных помещений. Производство валовых яиц в год превышает 85 000 000 штук.

Площадка полностью обеспечена современным оборудованием, что позволяет соблюдать технологию содержания родительского стада. Поддержание оптимальных параметров микроклимата позволяет в полном объеме раскрыть генетический потенциал родительского стада. Соблюдение санитарных правил позволяет содержать продуктивные стада с высокими показателями сохранности.

Исследования были проведены на птице родительского стада двух кроссов Росс 308 и Смена 9 в 2024–2025 гг. Опыт проведен однократно по средним показателям по стаду. В одном корпусе содержалась птица кросса Росс 308; поголовье петушков составляло 756 голов, курочек — 8870 голов. В другом корпусе содержалась птица кросса Смена 9; поголовье петушков составляло 1020 голов, курочек — 9060 голов. Петушков переводили 03.05.2024 г., курочек переводили — 07.05.2024 г. Родительское стадо содержится с 140 суток (20 нед.) до убоя — 434–448 суток (62–64 нед.).

В ходе проведения исследований были взяты контрольные периоды содержания стада: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 и 60 недель.

Условия проведения эксперимента и обслуживание животных были выполнены в соответствии с требованиями Директивы Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях[5] и Федерального закона «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»[6].

Условия содержания, кормления и поения птицы родительского стада во всех группах были идентичными и соответствовали зоотехническим нормам[7]. Содержание птицы — напольное на подстилке. В качестве подстилки используются опилки. Кормление осуществлялось в соответствии с рекомендациями ВНИИТиП[8] по кормлению сельскохозяйственной птицы[9].

Контроль фронта кормления и поения при содержании родительского стада производили еженедельно.

Нагрузку на кормушку и ниппельную поилку рассчитывали путем деления количества посаженных голов в каждой секции на количество кормушек и ниппельных поилок в секции, придерживаясь соответствующих нормативов.

Плотность посадки при напольном содержании — количество голов, содержащихся на 1 м^2 пола, — определяли делением общего поголовья кур и петухов на полезную площадь птичника.

Нагрузку на гнездо (гол./м^2) определяли делением поголовья курочек на площадь автоматического гнезда.

Сохранность птицы рассчитывали, как отношение конечного поголовья к начальному, выраженное в процентах.

Определение живой массы проводили еженедельно путем индивидуального взвешивания птицы на весах марки BAT1 (VEIT electronics, Чехия), взвешивали 2% поголовья кур и 10% поголовья петухов.

Яйценоскость стада фиксировали ежедневно и определяли отношением валового яйца к поголовью курочек, выраженным в процентах.

Выход инкубационного яйца рассчитывали как отношение инкубационного яйца к валовому яйцу, выраженного в процентах.

Оплодотворенность яйца — показатель, вычисляемый отношением количества оплодотворенных яиц к числу яиц, заложенных в инкубатор, выраженный в процентах. Оплодотворенность определяли на приборе ПКЯ-10 (Россия) методом овоскопирования инкубационного яйца на инкубаторе на третьи и десятые сутки после закладки яйца в инкубационные шкафы[10].

Вывод цыплят — один из самых важных показателей продуктивности родительского стада бройлерных кроссов — определяли отношением полученных при инкубации жизнеспособных цыплят к заложенному инкубационному яйцу, выраженным в процентах[11].

Производство инкубационных яиц на начальную несушку определяли отношением общего количества произведенного инкубационного яйца к поголовью на 168 сутки, считается в штуках.

Экономическую эффективность содержания родительского стада двух кроссов рассчитывали по общепринятым формулам.[12]

Результаты исследований были обработаны биометрически на ПК в программе Excel (США). Рассчитывались такие селекционно-генетические параметры, как средняя арифметическая и ошибка средней арифметической. Достоверность различий между признаками оценивали

[5] Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wpcontent/unloads2017/06/Directive_201063-rus.pdf
[6] Федеральный закон от 27.12.2018 №498-ФЗ (ред. От 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
[7] Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 26 марта 2025 года №188 «Об утверждении Ветеринарных правил содержания сельскохозяйственной птицы в целях её разведения и выращивания».
[8] Методическое пособие по кормлению сельскохозяйственной птицы / Разработали: И.А. Егоров [*и др.*]. Сергиев Посад: ФНЦ "ВНИТИП" РАН, 2021. 359 с.
[9] ГОСТ Р 58521-2019 Птицеводство. Термины и определения.
[10] ОСТ 10 321-2003 Яйца куриные инкубационные. Технические условия
[11] ОСТ 10 329-2003 Суточный молодняк кур. Технические условия
[12] Решеткина Ю.В., Столярова О.А. Экономика и организация предприятий АПК : учебное пособие для бакалавров по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. 116 с. EDN VAESVS.

путем сопоставления с t-критерием по Стьюденту. При этом устанавливали вероятность ошибочности прогноза по трем порогам достоверности (* — $P < 0,05$; ** — $P < 0,01$; *** — $P < 0,001$).

Ограничения исследования. Результаты получены на одном предприятии в конкретный период; экстраполяция на другие регионы и производственные системы требует дополнительных исследований.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Как подтверждают многочисленные научные исследования, эффективность современного производства бройлеров обеспечивается применением высокотехнологичного оборудования и созданием оптимальных условий содержания птицы, исключающих стрессовые факторы. Максимальная продуктивность достигается исключительно при слаженной, ритмичной и бесперебойной работе всех технологических процессов. Нарушение хотя бы одного из элементов системы неизбежно приводит к снижению объемов выпускаемой продукции относительно плановых показателей.

Сравнивая производственные показатели бройлерных мясных кроссов, Росс 308 и Смена 9, в первую очередь, стоит обратить внимание на условия их содержания[13, 14]. Соблюдение нормативов по фронту кормления и поения помогает раскрыть потенциал стада. Недостаточное обеспечение поголовья кормушками и поилками может привести к снижению однородности стада и, как следствие, к общему снижению продуктивности стада.

Нагрузка на петушиные кормушки за время всего содержания на родительской площадке не менялось; нагрузка составила 8 голов на одну петушиную кормушку и являлась нормативной (табл. 1).

При этом необходимо отметить, что на протяжении всего продуктивного периода следует контролировать количество петушиных кормушек, убирать лишние или добавлять недостающие, чтобы поддерживать фронт кормления петухов в нормативных значениях.

Нормативная нагрузка на куриную кормушку Big Dutchman на родительском стаде должна соответствовать 12 головам. Данные таблицы 1 показывают, что стадо кросса Росс 308 и Смена 9 посадили в корпус с превышением нагрузки на куриную кормушку; по стаду Росс 308 превышение составляло 0,3 головы и к нормативному значению приблизилось лишь в возрасте 40 недель. Нагрузка на кормушку стада кросса Смена 9 превышала норматив на 0,6 голов и к нормативному значению приблизилось лишь в возрасте 35 недель.

Нагрузка на ниппельную поилку во все периоды выращивания соответствует нормативным значениям. Кроме того, постоянный доступ к чистой питьевой воде позволяет птице лучше усваивать корм и, как следствие, достигать высоких показателей продуктивности.

В ходе проведения сравнения двух кроссов была проанализирована плотность посадки цыплят в корпусах родительского содержания. Площадь корпусов одинакова и составляет 1566 м^2. Полезная площадь равна 1418 м^2 в каждом. В результате оценки плотности посадки поголовья, исследователи пришли к выводу, что оба стада на протяжении всего производственного периода содержались с превышением норматива, который равен 5,5 голов на м^2. Смена 9 на момент посадки содержалась с нагрузкой, превышающей норматив на 1,6 голову на м^2; нагрузка на полезную площадь для кросса Росс 308 при посадке 6,9 голов/м^2, это выше допустимого значения на 1,4 голову на м^2.

В условиях данного хозяйства используются автоматические гнезда, которые позволяет снизить трудозатраты при производстве инкубационного яйца. Механизация сбора яйца экономит не только человеческие ресурсы, но и время, повышая выход инкубационного яйца. Величина нагрузки на гнездо может влиять на процент яйца,

Таблица 1. **Оценка условий содержания птицы, голов**
Table 1. **Assessment of poultry housing conditions, heads**

Возраст, недель	Кросс									
	Росс 308					Смена 9				
	Нагрузка на куриную кормушку	Нагрузка на петушиную кормушку	Нагрузка на ниппельную поилку	Плотность посадки	Нагрузка на гнездо	Нагрузка на куриную кормушку	Нагрузка на петушиную кормушку	Нагрузка на ниппельную поилку	Плотность посадки	Нагрузка на гнездо
20	12,3	8	7,1	6,9	69,3	12,6	8	7,3	7,1	76,2
25	12,2	8	7,0	6,8	68,5	12,4	8	7,2	6,9	75,4
30	12,1	8	7,0	6,8	68,1	11,9	8	6,9	6,7	74,9
35	12,0	8	6,9	6,7	67,7	11,7	8	6,7	6,5	74,4
40	12,0	8	6,9	6,7	67,3	11,5	8	6,7	6,4	74,0
45	11,8	8	6,8	6,6	66,5	11,4	8	6,6	6,4	73,2
50	11,7	8	6,8	6,5	65,9	11,3	8	6,5	6,3	72,4
55	11,5	8	6,7	6,4	64,8	11,1	8	6,4	6,2	71,3
60	11,4	8	6,6	6,4	64,0	11,0	8	6,3	6,1	70,4

[13] Руководство по работе с птицей мясного кросса Смена 9 с аутосексной материнской формой разработано авторским коллективом: Д.Н. Ефимов, А.В. Егорова, Ж.В. Еманyйлова, А.В. Иванов, А.П. Коноплева, А.А. Зотов, В.С. Лукашенко, А.А. Комаров, И.А. Егоров, Т.А. Егорова, Е.Ю. Байковская, В.А. Манукян, И.П. Салеева, А.Ш. Кавтарашвили, С.В. Смолов. Под общей редакцией академика РАН В.И. Фисинина
[14] Справочник по содержанию родительского стада ROSS, 2018

снесенного на полу, и, как следствие, на выход инкубационного яйца. Поэтому необходимо соблюдать нормативные показатели нагрузки на 1 м² гнезда. В условиях ЦРС «Вертуновский» принято считать за норму нагрузку в 90 голов на 1 м² гнезда, причем оба стада содержались в условиях соблюдения норматива по данному показателю.

Сохранность родительского стада является одним из ключевых показателей эффективности содержания поголовья в продуктивный период (табл. 2).

Сохранность курочек кросса Росс 308 на протяжении всего периода содержания превышала нормативные значения, максимальное превышение было в возрасте 40, 45 и 50 недель. После 50 недели видно увеличение их отхода, при этом до убоя стада сохранность ниже норматива не опускалась. Сохранность кросса Смена 9 с 25 недели опустилась ниже нормативного значения. В период разноса с 25 по 30 неделю отклонение от нормы продолжило увеличиваться и к 35 неделе составило 4%. Также видно увеличение отхода курочек после 50 недели.

Сравнение сохранности петушков кроссов Росс 308 и Смена 9 показывает, что падеж и выбраковка петушков Росс 308 превысили аналогичный показатель кросса Смена 9. Основной отход петушков Смены 9 был в период с 20 по 30 неделю. За этот период их пало и было выбраковано 7%. Отход петушков кросса Росс 308 увеличился в возрасте 35 недель. На 30 неделе сохранность петушка кросса Росс 308 превышала сохранность кросса Смена 9 на 4,1%, к 35 неделе показатель сохранности петушков Росс 308 был ниже аналогичного показателя Смена 9 на 1,5%. К моменту убоя стада сохранность петушков кросса Смена 9 составляла 78% и была выше сохранности Росс 308 на 14,2%.

Динамика изменения веса птицы может многое сказать о процессах, протекающих в стаде, начиная с соблюдения технологии содержания и до выявления проблем со здоровьем птицы. Контроль живой массы курочек и петушков происходил на всем периоде содержания родительского стада.

По результатам исследований видно, что курочки кросса Росс 308 на момент перевода в родительское стадо по живой массе соответствовали нормативу (табл. 3).

Таблица 3. **Живая масса кур по периодам выращивания, г**
Table 3. **Live weight of chickens by growing period, g**

Возраст, недель	Кросс					
	Росс 308			Смена 9		
	норма	факт	±	норма	факт	±
20	2512	2542 ± 24,3	+30	2210	2315 ± 25,3***	+105
25	3313	3362 ± 25,6	+49	2940	3060 ± 24,6***	+120
30	3752	3756 ± 32,3	+4	3480	3593 ± 32,1***	+113
35	3858	3914 ± 35,3	+56	3655	3879 ± 21,4	+224
40	3964	3995 ± 34,2	+31	3760	3858 ± 22,3***	+98
45	4070	4152 ± 26,8	+82	3830	4052 ± 25,9**	+222
50	4176	4168 ± 29,6	-8	3880	4139 ± 32,4	+259
55	4282	4185 ± 32,3	-97	3930	4211 ± 27,1	+281
60	4388	4234 ± 31,0	-154	3980	4229 ± 22,3	+249

Отклонение было незначительно, всего 30 г. К 50 неделе отклонение по живой массе начало увеличиваться, вес курочек стал ниже норматива. Еженедельные привесы были ниже нормы, что привело к снижению продуктивности стада после 50 недели. Курочки кросса Смена 9 на момент перевода на площадку родительского содержания имели превышение по живой массе в 105 г или 4,8%. Такое отклонение сохранялось во всем периоде содержания.

Петухи кросса Росс 308 поступили с превышением по живой массе, равным 283 г или 9,3% (табл. 4).

Такое отклонение сохранялось до 45 недели, после чего значение живой массы приблизилось к нормативу. К 60 неделе отклонение от нормы составляло 1,1%. Живая масса петушков кросса Смена 9 за весь период выращивания имела среднее отклонение в 1%. Максимальное отклонение от нормативного значения было в возрасте 25 недель и составило 3,5% или 142 г. Таким образом, можно сделать вывод, что живая масса петушков кросса Смена 9 больше соответствовала нормативным значениям кросса в отличие от петушков Росс 308.

Уровень яичной продуктивности птицы определяется количеством и качеством яиц, снесенных за какой-либо отрезок времени: неделю, месяц,

Таблица 2. **Сохранность птицы по периодам выращивания, %**
Table 2. **Bird survival rates by growing period, %**

Возраст, недель	Кросс											
	Росс 308						Смена 9					
	куры			петухи			куры			петухи		
	норма	факт	±	норма	факт	±	норма	факт	±	норма	факт	±
20	99,9	99,9	0,0	99,9	99,9	0,0	99,9	99,9	0,0	99,9	99,7	-0,2
25	99,5	99,8	+0,3	97,9	98,4	+0,5	99,5	98,0	-1,5	97,9	95,6	-2,3
30	98,0	99,3	+1,3	95,9	96,8	+0,9	98,0	94,8	-3,2	95,9	92,7	-3,2
35	96,8	98,6	+1,8	93,9	87,5	-6,4	96,8	92,8	-4,0	93,9	89,0	-4,9
40	95,8	98,0	+2,2	91,9	84,7	-7,2	95,8	91,7	-4,1	91,9	86,5	-5,4
45	94,8	96,9	+2,1	89,9	78,1	-11,8	94,8	90,6	-4,2	89,9	83,6	-6,3
50	93,8	96,0	+2,2	87,9	74,1	-13,8	93,8	89,8	-4,0	87,9	81,2	-6,7
55	93,1	94,4	+1,4	85,9	68,6	-17,3	93,1	88,5	-4,5	85,9	79,4	-6,5
60	92,3	93,2	+0,9	83,9	63,8	-20,1	92,3	87,2	-5,1	83,9	78,0	-5,9

Таблица 4. **Живая масса петухов по периодам выращивания, г**
Table 4. **Live weight of roosters by growing period, g**

Возраст, недель	Кросс					
	Росс 308			Смена 9		
	норма	факт	±	норма	факт	±
20	3035	3318 ± 25,6	+283	3210	3261 ± 25,8	+51
25	3750	4065 ± 24,5	+315	3910	4052 ± 24,3	+142
30	4040	4476 ± 32,3	+436	4300	4268 ± 32,7***	-32
35	4190	4539 ± 32,7	+349	4425	4493 ± 33,9	+68
40	4340	4621 ± 33,9	+281	4550	4425 ± 34,9***	-125
45	4490	4812 ± 26,9	+322	4670	4590 ± 26,8***	-80
50	4660	4824 ± 25,7	+164	4770	4831 ± 24,9	+61
55	4830	4899 ± 32,4	+69	4870	4999 ± 25,8**	+129
60	5000	4944 ± 33,6	-56	4970	5146 ± 25,5***	+176

год или биологический цикл. При этом показатель яйценоскости меняется в зависимости от возраста стада, программы кормления и условий содержания.

На основании данных, полученных в ходе исследований ряда ученых, анализ использования птицы родительского стада кроссов Смена 8, Смена 9 и Росс 308 показал, что почти по всем производственным показателям кросс Росс 308 лучше. У кросса Росс 308 наибольший процент сохранности поголовья, яйценоскости, оплодотворяемости и выводу цыплят.

В тоже время исследованиями других ученых утверждается, что новый кросс мясных кур Смена 9 показал высокий генетический потенциал и прекрасные продуктивные характеристики во время проведения производственных испытаний в нескольких регионах Российской Федерации, что создает возможность для перехода на отечественный генетический материал, снижения производственных затрат и открывает новые перспективы для дальнейшей селекции.

В проведенных исследованиях яйценоскость кросса Росс 308 значительно превышает показатели кросса Смена 9 по производству яйца. Пик яйценоскости у Росс 308 наступила в возрасте 30 недель и составила 89%, что на 13,6% выше яйценоскости кросса Смена 9 (табл. 5, рис. 1).

В период с 35 по 45 неделю превышение нормативного значения у кросса Росс 308 было выше на 4%. Кросс Смена 9 по яйценоскости не достиг нормативных значений. Отклонение по производству яйца у кросса Смена 9 в период содержания

Таблица 5. **Результаты яйценоскости кур, %**
Table 5. **The results of egg production of chickens, %**

Возраст, недель	Кросс					
	Росс 308			Смена 9		
	норма	факт	±	норма	факт	±
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	53,0	52,1	-0,9	47,1	39,2	-7,9
30	88,1	89,0	+0,9	84,3	75,6	-8,7
35	83,7	88,0	+4,3	77,1	72,1	-5,0
40	78,9	83,7	+4,8	70	65,5	-4,5
45	73,5	77,9	+4,4	62,9	58,9	-4,0
50	67,9	69,5	+1,6	55,7	48,8	-6,9
55	62,2	62,2	0,0	48,6	41,1	-7,5
60	56,3	56,2	-0,1	37,5	34,3	-3,2

Таблица 7. **Результаты оценки выхода инкубационного яйца, %**
Table 7. **Results of the hatching egg yield assessment, %**

Возраст, недель	Кросс					
	Росс 308			Смена 9		
	норма	факт	±	норма	факт	±
25	72,5	82,8	+10,3	72,5	43,4	-29,1
30	96,0	94,3	-1,7	96	93,5	-2,5
35	97,5	96,3	-1,2	97,5	96,0	-1,5
40	97,8	97,3	-0,5	97,8	97,4	-0,4
45	97,5	97,7	+0,2	97,5	97,9	+0,4
50	97,5	97,6	+0,1	97,5	97,3	-0,2
55	97,0	97,3	+0,3	97,0	97,0	0,0
60	96,5	95,4	-1,1	96,5	95,7	-0,8

составляло 5-7%. В среднем яйценоскость Росс 308 была выше на 20%.

Важное значение при работе с мясными кроссами имеет выход инкубационного яйца, так как от него в значительной степени зависит количество цыплят, полученных от курицы-несушки. К основным факторам, влияющим на выход инкубационного яйца, а также его качество относят: технологию содержания стада, микроклимат, программу кормления и здоровье поголовья (табл. 7, рис. 2).

Выход инкубационного яйца у обоих кроссов примерно равен. Но показатели кросса Смена 9 были ниже в начале периода разноса стада, с 30 недели показатели обоих кроссов равны.

Большое значение в селекции придают отбору петухов по признаку фертильности. По результатам исследований других авторов, у петухов мясных кроссов чем ярче выражены мясные качества, тем больше снижаются воспроизводительные функции. Для поддержания работоспособности

Рис. 1. Фактические данные яйценоскости, %
Fig. 1. Actual egg production data, %

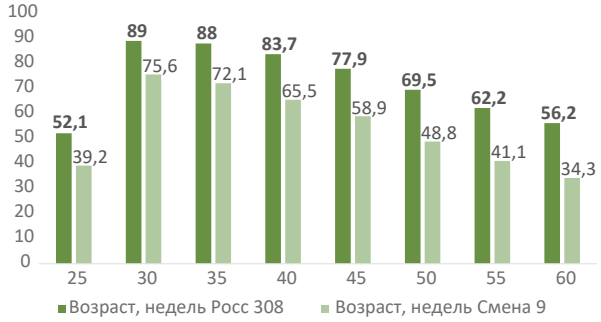
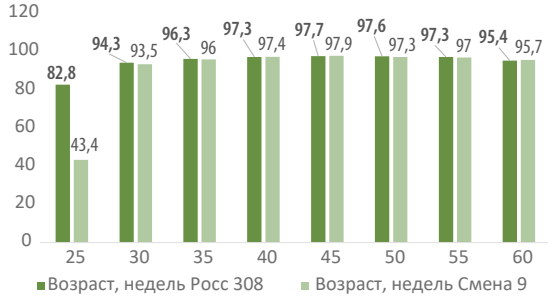


Рис. 2. Фактические данные выхода инкубационного яйца, %
Fig. 2. Actual hatching egg yield, %



самцов разрабатывают программу кормления таким образом, чтобы избежать чрезмерного роста живой массы.

Поддержание у петухов кондиции обмускуленности 2–3 на всем этапе содержания позволяет контролировать прибавки петуху корма и соблюдать высокий показатель оплодотворенности яиц (табл. 8).

Способность петухов кросса Росс 308 оплодотворять курочек была ниже нормы в период разноса стада. К 30 неделе их фертильность достигла нормативных значений и превысила их, но, начиная с 40 недели, видно снижение процента оплодотворенного яйца у курочек кросса Росс 308. К 60 неделе отклонение составило 4,2%. Оплодотворенность яиц у курочек кросса Смена 9 выглядит предпочтительнее. Она чуть ниже нормы в 25 недель, начиная с 30 недели, фертильность кросса Смена 9 остается выше норматива.

Вывод цыплят зависит, в первую очередь, от фертильности стада, сроков хранения яйца и технологии его инкубирования. Для получения высоких показателей вывода цыплят необходимо также клиническое здоровье стада (табл. 9, рис. 3).

Сравнивая показатели по выводу цыплят, видно, что они напрямую зависят от показателя оплодотворенности яйца. Вывод кросса Росс 308 ниже нормативного значения на всем этапе содержания родительского стада. Показатель по выводу цыплят кросса Смена 9 значительно выше.

С 40 недели вывод цыплят из инкубационного яйца, полученного от несушек кросса Смена 9, был выше нормативного значения.

Показатель производства инкубационного яйца и суточного цыпленка на начальную несушку оценили по закрытию партии на момент убоя стада. Поголовье кросса Росс 308, взятое за начальную несушку, составляло 8775, кросса Смена 9 — 8978 голов. Возраст убоя стада составил 63 недели (табл. 10).

Результаты показывают, что курочки Росс 308 на начальную несушку произвели 188,1 шт. инкубационных яиц, это на 10,7 шт. выше норматива кросса; цыплят получили 141,6 шт., что ниже норматива на 8,4 цыпленка. Курочки Смена 9 произвели 131,1 шт. инкубационных яиц, что на 26,7 шт. ниже норматива; цыплят от каждой несушки получили 107,3 шт. и ниже нормы на 24,7 шт. Сравнивая кроссы Росс 308 и Смена 9, видно, что на каждую начальную несушку Росс 308 получается больше на 55 яиц и на 34,2 цыпленка.

Рис. 3. Фактические данные вывода цыплят, %
Fig. 3. Actual data on chick hatching, %

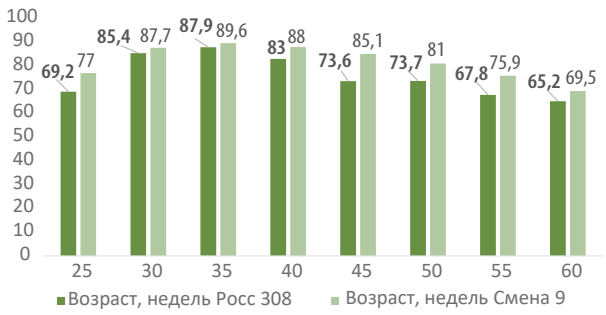


Таблица 8. **Сравнение оплодотворенности яиц, %**
Table 8. **Comparison of egg fertilization rates, %**

Возраст, недель	Кросс					
	Росс 308			Смена 9		
	норма	факт	±	норма	факт	±
25	87,7	78,4	-9,3	87,7	83,3	-4,4
30	97,2	98,2	+1,0	97,2	96,0	-1,2
35	98,1	98,3	+0,2	98,1	98,0	-0,1
40	97,0	94,9	-2,1	97,0	97,0	0,0
45	94,1	93,7	-0,4	94,1	96,8	+2,7
50	91,0	85,1	-5,9	91,0	92,5	+1,5
55	86,5	79,9	-6,6	86,5	87,7	+1,2
60	81,2	77,0	-4,2	81,2	82,8	+1,6

Таблица 9. **Результаты оценки вывода цыплят, %**
Table 9. **Results of chick hatching assessment, %**

Возраст, недель	Кросс					
	Росс 308			Смена 9		
	норма	факт	±	норма	факт	±
25	77,0	69,2	-7,8	77,0	74,1	-2,9
30	87,7	85,4	-2,3	87,7	83,2	-4,5
35	89,6	87,9	-1,7	89,6	87,6	-2,0
40	88,0	83,0	-5,0	88,0	85,1	-2,9
45	85,1	73,6	-11,5	85,1	86,7	+1,6
50	81,0	73,7	-7,3	81,0	81,1	+0,1
55	75,9	67,8	-8,1	75,9	75,6	-0,3
60	69,5	65,2	-4,3	69,5	71,0	+1,5

Таблица 10. **Результаты сравнения производства инкубационных яиц и цыплят на начальную несушку**
Table 10. **Comparison of hatching egg and chick production per initial hen**

Показатель	Кросс	
	Росс 308	Смена 9
Поголовье курочек, гол.	8775	8978
Всего инкубационных яиц, шт.	1650468	1177456
Яиц на одну несушку, шт.	188,1	131,1
Всего суточных цыплят, гол.	1242240	963687
Цыплят на одну несушку, гол.	141,6	107,3

Далее была просчитана экономическая эффективность яичной продуктивности кур (табл. 9). Расчеты выполнены на основе учетных цен и носят оценочный характер.

Результаты проведенных исследований помогают определить уровень рентабельности содержания родительских стад кроссов Росс 308 и Смена 9, следовательно, и целесообразность данных исследований (табл. 11).

По результатам экономических расчетов видно, что курочки кросса Росс 308 произвели больше инкубационных яиц — 1 650 468 шт., суточных цыплят — 1 242 240 голов. Рентабельность реализации инкубационных яиц составила 44,6%, что на 32,3% выше аналогичного показателя курочек Смены 9. Рентабельность реализации суточных цыплят у Росс 308 составила 111,6% и превысила показатель Смены 9 на 37,5%.

Таблица 11. **Экономическая эффективность яичной продуктивности кур родительского стада**
Table 11. **Economic efficiency of egg production in the parent flock**

Показатель	Кросс	
	Росс 308	Смена 9
Поголовье начальной несушки, гол.	8775	8978
Инкубационных яиц на начальную несушку, шт.	188,1	131,1
Всего инкубационных яиц, шт.	1 650 468	1 177 456
Себестоимость инкубационного яйца, руб.	18,5	25,3
Полная себестоимость инкубационных яиц, руб.	30 533 658	29 839 638
Суточных цыплят на начальную несушку, шт.	141,6	107,3
Всего суточных цыплят, шт.	1 242 240	963 687
Себестоимость суточного цыпленка, руб.	28,1	34,9
Полная себестоимость суточных цыплят, руб.	34 906 954	33 673 611
Выручка от реализации инкубационных яиц, руб.	48 688 806	34 734 952
Выручка от реализации суточных цыплят, руб.	83 602 775	64 856 156
Прибыль от реализации инкубационных яиц, руб.	18 155 148	4 895 314
Прибыль от реализации суточных цыплят, руб.	48 695 821	31 182 545
Уровень рентабельности производства инкубационных яиц, %	44,6	12,3
Уровень рентабельности производства суточных цыплят, %	111,6	74,1

Вывод суточных цыплят за партию у Росс 308 составил 75,3%, а у Смены 9 составил 81,8%. За весь период содержания от каждой несушки кросса Росс 308 получили 188,1 штук инкубационных яиц и 141,6 суточных цыплят; кросса Смены 9 — 131,1 инкубационных яиц и 107,3 суточных цыплят. По количеству суточных цыплят от кросса Росс 308 получили на 34,3 больше, чем от Смены 9.

По производству инкубационных яиц кросс Росс 308 оказался лучше на 57 штук от каждой несушки.

Рентабельность производства и реализации инкубационного яйца от курочек Росс 308 выше показателя рентабельности Смены 9 на 32,3%; рентабельность при реализации суточных цыплят у Росс 308 выше на 37,5%.

Таким образом, в результате проведенного научно-производственного опыта рекомендовано использование в производстве инкубационного яйца и суточных цыплят родительское стадо кросса Росс 308.

Выводы/Conclusion

Яйценоскость курочек кросса Росс 308 значительно превышала показатели кросса Смены 9. Среднее превышение яйценоскости у кросса Росс 308 составило 17,9%.

Оплодотворенность инкубационных яиц, полученных от несушек кросса Смена 9 в среднем была выше на 4,8% показателей кросса Росс 308.

Рекомендации производству. Со стороны технологического прогресса, необходимо строго соблюдать все параметры технологии выращивания и содержания птицы, рекомендовать уменьшить посадочное поголовье, что в дальнейшем положительно скажется на воспроизводительных качествах кур-несушек кросса Росс 308 и Смена 9 и улучшит показатели сохранности поголовья.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли вклад в работу:
Т.В. Шишкина — 30 %.
В.И. Косилов — 25 %;
Ю.А. Юлдашбаев — 15 %;
Р.Г. Калякина — 10%;
Е.А. Никонова — 10%
Б.Т. Кадралиева — 5 %;
М.В. Калашников — 5%
Авторы 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.
The authors contributed to the work:
T.V. Shishkina — 30 %.
V.I. Kosilov — 25 %;
Y.A. Yuldashbaev — 15 %;
R.G. Kalyakina — 10%;
E.A. Nikonova — 10%
B.T. Kadralieva — 5 %;
M.V. Kalashnikov — 5%
The authors participated in writing the manuscript and bear equal responsibility for plagiarism.
The authors declare no conflict of interest

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобылева Г.А. Обеспечим достижение намеченных целей. *Птица и птицепродукты*. 2015; (1): 8–9. EDN TOBXHZ
2. Бобылева Г.А. Перспективы развития отрасли птицеводства. *АПК: экономика, управление*. 2010; (8): 15–20. EDN MUKDIB
3. Косьяненко С. Состояние и перспективы развития птицеводства в Республике Беларусь. *Аграрная экономика*. 2015; (3): 49–54. EDN YHJJTE
4. Бережная В.Ю. Организация производства продукции птицеводства: оценка и приоритетные направления развития. *Экономика и эффективность организации производства*. 2004; (3): 17–20. EDN VEHVFV
5. Горлов И.Ф. Системные технологии продсырья и продуктов как основа повышения конкурентоспособности АПК. *Совершенствование технологий производства и переработки продукции животноводства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Волгоград: ВолгГТУ. 2005; 1: 12–20. EDN WOVNNB
6. Егоров И.А., Буяров В.С. Развитие новых направлений в области селекции, кормления и технологии бройлерного птицеводства. *Вестник ОрелГАУ*. 2011; (6): 17–23. EDN PTUZAZ
7. Ташкина А. Секрет успешной инкубации. *Животноводство России*. 2018; (S3): 55–56. EDN VNOITO
8. Коршунова Л.Г., Карапетян Р.В., Фисинин В.И. Методы генетической модификации и селекция сельскохозяйственной птицы. *Сельскохозяйственная биология*. 2013; 48(6): 3–15. EDN RWGIAL
9. Латыпова Е.Н. Показатели воспроизводства племенной птицы и качество ее гибридного молодняка под влиянием антистрессовых препаратов. *Аграрный вестник Урала*. 2014; (2): 24–31. EDN SGEQQT

REFERENCES

1. Bobyleva G.A. Ensuring the Achievement of Set Goals. *Poultry & chicken products*. 2015; (1): 8–9 (in Russian). EDN TOBXHZ
2. Bobyleva G.A. Prospects for the development of the poultry industry. *AIC: economics, management*. 2010; (8): 15–20 (in Russian). EDN MUKDIB
3. Kos'yanenko S. The state and prospects of poultry farming development in the Republic of Belarus. *Agrarian Economics*. 2015; (3): 49–54 (in Russian). EDN YHJJTE
4. Berezhnaya V.Yu. Organization of poultry production: assessment and priority directions of development. *Ekonomika i effektivnost' organizatsii proizvodstva*. 2004; (3): 17–20 (in Russian). EDN VEHVFV
5. Gorlov I.F. Systematic technologies of food raw materials and products as a basis for increasing the competitiveness of the agro-industrial complex. *Improving technologies for the production and processing of livestock products. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Volgograd: Volgograd State Technical University. 2005; 1: 12–20 (in Russian). EDN WOVNNB
6. Egorov I.A., Buyarov V.S. Development of new directions in the field of breeding, feeding, and technology of broiler poultry farming. *Vestnik OrelGAU*. 2011; (6): 17–23 (in Russian). EDN PTUZAZ
7. Tashkina A. Secret of successful incubation. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2018; (S3): 55–56 (in Russian). EDN VNOITO
8. Korshunova L.G., Karapetyan R.V., Fisinin V.I. Methods for genetic modification in poultry. *Agricultural Biology*. 2013; 48(6): 3–15 (in Russian). EDN RWGIAL
9. Latypova E.N. Indicators of the breeding bird reproduction and quality of it's hybrid youngsters under the influence of anti-stress preparations. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (2): 24–31 (in Russian). EDN SGEQQT

10. Стрельцов В.А., Рябичева А.Е. Продуктивность бройлеров кросса «Кобб-500», полученных от разных родительских стад. *Вестник Брянской ГСХА*. 2018; (6): 40–43. EDN VNFYWY
11. Gorelik O.V. *et al.* Dynamics of Hematological Indicators of Chickens under Stress-Inducing Influence. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 264–267. https://doi.org/10.15421/2020_94
12. Gorelik O.V. *et al.* Influence of Transport Stress on the Adaptation Potential of Chicken. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 260–263. https://doi.org/10.15421/2020_93
13. Дубровский А.А., Смирнова В.В. Использование светодиодного освещения с различной цветовой температурой при выращивании родительского стада птицы. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2020; (4): 188–195. EDN TQKGCY
14. Садомов Н.А. Качественные показатели яичной продуктивности родительского стада кур при использовании различных способов содержания. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. Горки: БГСХА. 2021; 24(2): 38–44. EDN LJAVKS
15. Бусловская Л.К., Ковтуненко А.Ю., Беляева Е.Ю. Адаптация кур к факторам промышленного содержания. *Научные ведомости Белгородского государственного университета*. 2010; (21): 96–102. EDN NDAVGL
16. Долматова И.А., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Актуальные проблемы птицеводства. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2020; 2: 56. EDN UOGSLN
17. Овчинников А.А., Косилов В.И., Яптик Н.Д. Влияние кормовой добавки фитобиотика на мясную продуктивность цыплят-бройлеров. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2024; (4): 308–313. https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-108-4-308-313
18. Овчинников А.А., Косилов В.И., Мокин А.С. Влияние фитопребиотической добавки на переваримость питательных веществ рациона цыплят-бройлеров. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; (3): 345–350. https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-113-3-345-350
19. Овчинников А.А., Косилов В.И., Шепелева Т.А., Ростова О.В. Оценка мясной продуктивности цыплят-бройлеров, выращенных на рационе с кормовой добавкой березового гриба (чаги). *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2024; (5): 321–326. https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-109-5-321-326
20. Дубежинский Е.В., Белоусов А.С., Парханович Е.Е. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров кросса «Ross-308». *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2020; (1): 12–15. EDN BQHZAF
21. Даниловская В.К., Василенко И.О., Авдеенко В.С., Козлов С.В. Влияние кормовых добавок на качество семени петухов родительского стада РОСС-308. *Генетика и разведение животных.* 2022; (1): 68–76. https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-1-68-76
22. Ежова О., Косилов В., Вильвер Д., Вильвер М. Эффективность антисептического препарата Монклавит-1 в инкубации яиц. *Ветеринария сельскохозяйственных животных*. 2018; (11): 52–56. EDN YTSPNB
23. Оганов Э.О., Инатуллаева Л.Б., Кубатбеков Т.С., Косилов В.И. Влияние препарата СБА на динамику гистологического строения корня перьев и кожи у уток в постнатальном периоде онтогенеза. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017; (1): 124–127. EDN YFNHPP
24. Kochish I.I. *et al.* Features of Fractal Conformity and Bioconsolidation in the Early Myogenesis Gene Expression and Their Relationship to the Genetic Diversity of Chicken Breeds. *Animals*. 2023; 13(3): 521. https://doi.org/10.3390/ani13030521
25. Ермолов С.М., Гриценко С.А., Ребезов М.Б. Оценка доли влияния живой массы птенцов в суточном возрасте на продуктивные показатели. БИО. 2025; (9): 36–39. EDN LDAWWY
26. Хаустов В.Н., Жуков В.М., Новиков Н.А., Сарычев Н.Г. Продуктивные качества мясных кур родительского стада при разных уровнях протеина в рационе. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016; (4): 116–119. EDN VUREJD
27. Шульга Л.В., Медведева К.Л., Шимаковская А.В., Шульга Е.Д., Ланцов А.В., Долина Д.С. Мясная продуктивность бройлеров при использовании в кормлении адсорбентов микотоксинов. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2022; (2): 14–17. EDN QTKKQV
28. Йованович Я.А., Мясникова О.В. Новый отечественный кросс «Смена 9» как ориентир продовольственной безопасности России. *Неделя молодежной науки. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. М.: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина. 2024; 566–569. EDN MLDKDI
29. Костиков А.Л., Самбуров Н.В. Кроссы мясных цыплят отечественной и зарубежной селекции. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014; (5): 62–65. EDN SYJJIV
30. Беляева Н.В., Маковеева А.С. Сравнительный анализ продуктивности родительского стада кроссов «Росс-308» и «Смена-8» на базе ОАО «Птицефабрика «Среднеуральская». *Молодежь и наука*. 2014; (3): 17. EDN TACORR

10. Streltsov V.A., Ryabicheva A.E. Productivity of "Cobb-500" cross broilers of different parent flocks. *Vestnik Bryansk State Agricultural Academy*. 2018; (6): 40–43 (in Russian). EDN VNFYWY
11. Gorelik O.V. *et al.* Dynamics of Hematological Indicators of Chickens under Stress-Inducing Influence. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 264–267. https://doi.org/10.15421/2020_94
12. Gorelik O.V. *et al*. Influence of Transport Stress on the Adaptation Potential of Chicken. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 260–263. https://doi.org/10.15421/2020_93
13. Dubrovsky A., Smirnova V. The use OF LED lighting with different color temperatures when raising a parent flock of poultry. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2020; (4): 188–195 (in Russian). EDN TQKGCY
14. Sadomov N.A. Qualitative indicators of egg productivity in the parent flock when using different housing methods. *Current problems of intensive development of animal husbandry*. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy. 2021; 24(2): 38–44 (in Russian). EDN LJAVKS
15. Buslovskaya L.K., Kovtunenko A.Y., Belyaeva E.Y. Hens adaptation to factors of industrial housing. *Belgorod State University scientific bulletin*. 2010; (21): 96–102 (in Russian). EDN NDAVGL
6. Dolmatova I.A., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Actual problems of poultry farming. *Actual problems of modern science, technology and education. Abstracts of the 78th International scientific and technical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2020; 2: 56 (in Russian). EDN UOGSLN
17. Ovchinnikov A.A., Kosilov V.I., Yaptik N.D. The influence of phytobiotic feed additives on the meat productivity of broiler chickens. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2024; (4): 308–313 (in Russian). https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-108-4-308-313
18. Ovchinnikov A.A., Kosilov V.I., Mokin A.S. Effect of phytoprebiotic supplement on digestibility of dietary nutrients in broiler chickens. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; (3): 345–350 (in Russian). https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-113-3-345-350
19. Ovchinnikov A.A., Kosilov V.I., Shepeleva T.A., Rostova O.V. Evaluation of meat productivity of broiler chickens raised on a diet with a feed additive of birch mushroom (chaga). *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2024; (5): 321–326 (in Russian). https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-109-5-321-326
20. Dubezhinskii E.V., Belousov A.S., Parkhanovich E.E. Meat productivity of broiler chickens of the cross «Ross-308». *Animal agriculture and veterinary medicine*. 2020; (1): 12–15 (in Russian). EDN BQHZAF
21. Danilovskaya V., Vasilenko I., Avdeenko V., Kozlov S. Influence of feed additives on the quality of seed of cocks of ROSS-308 parent stock. *Genetics and breeding of animals*. 2022; (1): 68–76 (in Russian). https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-1-68-76
22. Ezhova O., Kosilov V., Vilver D., Vilver M. The effectiveness of antiseptic drug Monclavit-1 in brooding of eggs. *Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*. 2018; (11): 52–56 (in Russian). EDN YTSPNB
23. Oganov E.O., Inatullaeva L.B., Kubatbekov T.S., Kosilov V.I. Effect of SBAB probiotic on the dynamics of histological structure of ducks' feather roots and skin in the postnatal ontogenesis. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017; (1): 124–127 (in Russian). EDN YFNHPP
24. Kochish I.I. *et al.* Features of Fractal Conformity and Bioconsolidation in the Early Myogenesis Gene Expression and Their Relationship to the Genetic Diversity of Chicken Breeds. *Animals*. 2023; 13(3): 521. https://doi.org/10.3390/ani13030521
25. Ermolov S.M., Gritsenko S.A., Rebezov M.B. Evaluation of the influence of live weight of day-old chicks on productive indicators. *BIO*. 2025; (9): 36–39 (in Russian). EDN LDAWWY
26. Khaustov V.N., Zhukov V.M., Novikov N.A., Sarychev N.G. The productive qualities of meat chickens of parent flock when fed different protein percentage in their diets. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2016; (4): 116–119 (in Russian). EDN VUREJD
27. Shulga L.V., Medvedeva K.L., Shimakovskaia A.V., Shulga E.D., Lantsov A.V., Dolina D.S. Meat productivity of broilers with the use in feeding of micro-toxin adsorbents. *Animal agriculture and veterinary medicine*. 2022; (2): 14–17 (in Russian). EDN QTKKQV
28. Yovanovich Ya.A., Myasnikova O.V. The new domestic cross "Smena 9" as a reference point for Russia's food security. *Week of youth science. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Moscow: Moscow State Academy of Veterinary Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA named after K.I. Skryabin. 2024; 566–569 (in Russian). EDN MLDKDI
29. Kostikov A.L., Samburov N.V. Crosses of domestic and foreign meat chickens. *Vestnik of Kursk state agricultural academy*. 2014; (5): 62–65 (in Russian). EDN SYJJIV
30. Belyaeva N.V., Makoveyeva A.S. Comparative analysis of the productivity of paternal herd of cross-country races «Ross-308» and «Smena-8» on the base of OAO [sic!] «Poultry factory "Sredneuralskaya"». *Molodezh' i nauka*. 2014; (3): 17 (in Russian). EDN TACORR

ОБ АВТОРАХ

Татьяна Викторовна Шишкина[1]
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра «Производство продукции животноводства»
shishkina.t.v@pgau.ru
https://orcid.org/0000-0003-1965-682X

Владимир Иванович Косилов[2]
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, кафедра технологии производства и переработки продукции животноводства
kosilov_vi@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-4754-1771

ABOUT THE AUTHORS

Tatyana Viktorovna Shishkina[1]
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Livestock Production
shishkina.t.v@pgau.ru
https://orcid.org/0000-0003-1965-682X

Vladimir Ivanovich Kosilov[2]
doctor of agricultural sciences, professor, department of technology of production and processing of livestock products
kosilov_vi@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-4754-1771

Юсупжан Артыкович Юлдашбаев[3]
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
академик Российской академии наук
yuldashbaev@rgau-msha.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-7150-1131
Раиля Губайдулловна Калякина[2]
кандидат биологических наук, доцент
kalyakina_railya@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8892-0669
Елена Анатольевна Никонова[2]
доктор сельскохозяйственных наук,
кафедра технологии производства
и переработки продукции животноводства
nikonovaea84@mail.ru
https://orcid.org/ 0000-0003-0906-8362
Бакытканым Талаповна Кадралиева[4]
кандидат сельскохозяйственных наук, научный
сотрудник, научно-исследовательская лаборатория
«Пищевая безопасность»
bkadralieva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5161-5561
Максим Вячеславович Калашников[5]
аспирант
maxim07092001@gmail.com

[1] Пензенский государственный аграрный университет,
ул. Ботаническая, 30, Пенза, 440014, Россия
[2] Оренбургский государственный аграрный университет,
ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия
[3] Российский государственный аграрный университет —
МСХА им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия
[4] Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет им. Жангир Хана,
ул. им. Жангир хана, 51, г. Уральск, Казахстан
[5] Волгоградский государственный аграрный университет,
Университетский проспект, 26, Волгоград, 400002, Россия

Yusupzhan Artykovich Yuldashbaev[3]
doctor of agricultural sciences, professor,
academician of the Russian Academy of Sciences
yuldashbaev@rgau-msha.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-7150-1131
Railya Gubaidullovna Kalyakina[2]
candidate of biological sciences, associate professor
kalyakina_railya@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8892-0669
Elena Anatol'evna Nikonova[2]
doctor of agricultural sciences,
department of technology of production
and processing of livestock products
nikonovaea84@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0906-8362
Bakytkanym Talapovna Kadralieva[4]
Candidate of Agricultural Sciences,
Researcher, Research Laboratory
"Food Safety"
bkadralieva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5161-5561
Maxim Viacheslavovich Kalashnikov[5]
Postgraduate student
maxim07092001@gmail.com

[1] Penza State Agrarian University,
30 Botanicheskaya st, Penza, 440014, Russia
[2] Orenburg State Agrarian University,
18 Chelyuskintsev st., Orenburg, 460014, Russia
[3] Russian Timiryazev State Agrarian University,
49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434,
Russia
[4] Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian
and Technical University,
51 Zhangir Khan st., Uralsk, Kazakhstan
[5] Volgograd State Agrarian University,
26 Universitetsky Ave., Volgograd, 400002, Russia

УДК 636.082.12

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-109-115

Л.Г. Коршунова
Е.И. Куликов ✉
В.Н. Мартынова
Р.В. Карапетян
Д.М. Дмитренко
А.К. Кравченко

ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства», Сергиев Посад, Московская обл., Россия

✉ *kulikovegor33@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 04.03.2026
Одобрена после рецензирования: 07.08.2026
Принята к публикации: 21.08.2026

© Коршунова Л.Г., Куликов Е.И., Мартынова В.Н., Карапетян Р.В., Дмитренко Д.М., Кравченко А.К.

Исследование связи полиморфизмов в генах *HGF, GAB1* с показателями мясной продуктивности цыплят-бройлеров кросса «Смена 9»

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В работе представлено исследование ассоциации однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) генов *HGF* и *GAB1* с показателями мясной продуктивности цыплят-бройлеров кросса «Смена 9». Ген *HGF* локализован на 1-й хромосоме и кодирует фактор роста гепатоцитов, участвующий в регуляции пролиферации и дифференцировки миобластов. Ген *GAB1*, расположенный на 4-й хромосоме, кодирует докинг-белок сигнальных путей PI3K/Akt и MAPK/ERK, играющих ключевую роль в процессах клеточного роста и миогенеза.

Методика. Объектом исследования служили цыплята-бройлеры кросса «Смена 9», выращенные до 42 суток. Генотипирование проводили методом RT-PCR с использованием аллель-специфичных зондов. Для локуса rs313956452 гена *HGF* установлены частоты генотипов: AA — 0,33; AG — 0,55; GG — 0,12. Для локуса rs313780029 гена *GAB1* частоты генотипов распределились следующим образом: TT — 0,60; TC — 0,30; CC — 0,10.

Результаты. Анализ продуктивности показал, что генотип AA по *HGF* ассоциирован с более высокой живой массой на 35–42 сутки у курочек и на 28–42 сутки у петушков ($p < 0,05$), а также с тенденцией к увеличению выхода грудной и бедренной мышц. По гену *GAB1* установлено, что носители генотипа CC превосходят особей с генотипом TC по живой массе в ранние периоды выращивания.
Полученные результаты подтверждают селекционную значимость генотипа AA гена *HGF* и аллеля C гена *GAB1* и демонстрируют перспективность их использования в программах маркер-ассоциированной селекции.

Ключевые слова: генетика, куры, *HGF, GAB1*, SNP, RT-PCR, живая масса

Для цитирования: Коршунова Л.Г., Куликов Е.И., Мартынова В.Н., Карапетян Р.В., Дмитренко Д.М., Кравченко А.К. Исследование связи полиморфизмов в генах *HGF, GAB1* с показателями мясной продуктивности цыплят-бройлеров кросса «Смена 9». *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 109–115.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-109-115

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-109-115

Lyudmila G. Korshunova
Egor I. Kulikov ✉
Vera N. Martynova
Ruben V. Karapetyan
Dmitry M. Dmitrenko
Arina K. Kravchenko

All-Russian Research and Technological Poultry Institute", Sergiev Posad, Russia

✉ *kulikovegor33@yandex.ru*

Received by the editorial office: 04.03.2026
Accepted in revised: 07.08.2026
Accepted for publication: 21.08.2026

© Korshunova L.G., Kulikov E.I., Martynova V.N., Karapetyan R.V., Dmitrenko D.M., Kravchenko A.K.

Investigation of the *HGF, GAB1* genes polymorphisms association with meat productivity of the «Smena 9» broiler chickens

ABSTRACT

Relevance. The Article presents a study of the association of single nucleotide polymorphisms (SNPs) of the *HGF* and *GAB1* genes with meat productivity traits in broiler chickens of the «Smena 9» cross. The *HGF* gene is localized on chromosome 1 and encodes the hepatocyte growth factor involved in the regulation of myoblast proliferation and differentiation. The *GAB1* gene, located on chromosome 4, encodes the docking protein of the PI3K/Akt and MAPK/ERK signaling pathways, which play a key role in cell growth and myogenesis.

Methodology. The object of the study was broiler chickens of the «Smena 9» cross, raised up to 42 days. Genotyping was performed by RT-PCR using allele-specific probes. The frequencies of the genotypes have been established for the rs313956452 locus of the *HGF* gene: AA — 0,33; AG — 0,55; GG — 0,12. For the rs313780029 locus of the *GAB1* gene, the genotype frequencies were distributed as follows: TT — 0,60; TC — 0.30; CC — 0.10.

Results. Productivity analysis showed that the AA genotype according to *HGF* is associated with a higher live weight on days 35–42 in chickens and on days 28–42 in roosters ($p < 0.05$), with a tendency to increase the output of the pectoral and femoral muscles. According to the *GAB1* gene, carriers of the CC genotype were found to outperform individuals with the TC genotype in terms of body weight in the early growing periods.
The results obtained confirm the breeding significance of the AA genotype of the *HGF* gene and the C allele of the *GAB1* gene and demonstrate the prospects for their use in marker-associated breeding programs.

Key words: genetics, chickens, *HGF, GAB1,* SNP, RT-PCR, live weight

For citation: Korshunova L.G., Kulikov E.I., Martynova V.N., Karapetyan R.V., Dmitrenko D.M., Kravchenko A.K. Investigation of the *HGF, GAB1* genes polymorphisms association with meat productivity of the «Smena 9» broiler chickens. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 109–115 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-109-115

Введение/Introduction

Птицеводческая отрасль Российской Федерации динамично развивается. Валовое производство мяса бройлеров за 2024 год составило 5,45 миллиона тонн в убойной массе. Удельный вес мяса птицы в общей структуре мяса всех видов животных на отечественном рынке составляет 44%, потребление мяса на душу населения в 2024 г. достигло 36,7 кг, по прогнозам экспертов, данный показатель продолжит расти [1].

Генетическая селекция внесла большой вклад в увеличение производства и улучшение качества мяса птицы за последние 50 лет. Особое внимание уделяется текущим исследованиям в области генетики домашней птицы. Сравнительный анализ отселекционированных коммерческих линий кур с неотселекционированной афино-канадской контрольной линией, разделенной более чем 44 годами селекции, показал, что 85–90 % изменений в увеличении показателей прироста живой массы бройлеров, убойного выхода тушки и ее основных частей обусловлено селекционными мероприятиями по генетическому отбору [2]. Большое количество различных стратегий разведения было использовано для генетического улучшения отдельных признаков птицы, включая воспроизводство, скорость роста, эффективность кормления, выход продукции, качество мяса, а также для снижения метаболических и скелетных нарушений [3]. Курица стала первым видом животных, у которого было продемонстрировано наследование по законам Менделя. Спустя столетие она также стала первым сельскохозяйственным видом, у которого был полностью просеквенирован геном, что стало важным прорывом в науке. Курица остается ключевым объектом для генетических исследований, улучшая птицеводство и служа моделью для изучения других видов, включая человека [4].

В условиях интенсификации птицеводства существует необходимость создания специализированных селекционных линий. Скрещивание этих линий позволяет получать высокопродуктивные гибриды, адаптированные к промышленным технологиям содержания[1].

Отечественный кросс мясных кур «Смена 9» имеет классическую 4-х линейную структуру и схему скрещивания для получения конечного продукта. В кроссе две линии типа белый корниш отцовской родительской формы СМ5 и СМ6 и две линии типа плимутрок материнской родительской формы СМ7 и СМ9, две родительские формы СМ56, СМ79 и четырехлинейный гибрид СМ5679 [5].

Мясная продуктивность представляет собой ключевой хозяйственно значимый признак, характеризующий сельскохозяйственную птицу. Она определяется массой тушки и качественными характеристиками мяса птицы на момент убоя. Мясные качества являются важнейшими характеристиками бройлеров. Однако лежащие в их основе генетические механизмы до конца не изучены. Показатели наследуемости таких характеристик, как масса тушки, масса бедренной и грудной мышцы, качество мяса грудки и эффективность использования корма, могут быть существенно улучшены посредством генетической селекции. Этого можно достичь, изучая связь между определенными генами и фенотипическими характеристиками в коммерческих популяциях бройлеров [6].

Наличие сотен тысяч маркеров, охватывающих весь геном, позволило повысить точность оценки племенной ценности, улучшить управление генетической изменчивостью и сократить интервалы между поколениями[2]. Результаты показывают, что геномная информация, применяемая в селекции несушек и бройлеров, способствует повышению точности отбора по признакам, имеющим экономическое значение [7–9].

Исследования полиморфизмов в генах-кандидатах и последующий анализ корреляции с показателями продуктивности служат основой для селекционных программ. Анализ множественных генов является трудоемким и дорогостоящим процессом [10–12]. Однако для прогнозирования интересующих фенотипических признаков достаточно использовать ограниченный набор маркеров. Идентификация и характеристика хромосомных локусов, содержащих количественные признаки (QTL), с применением программ маркер-ассоциированной селекции (MAS), позволяет эффективно использовать молекулярные карты ассоциаций в сочетании со статистическими методами для генетической характеристики сложных признаков [12–14].

На сегодняшний день однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) являются наиболее часто используемыми маркерами при изучении генетических характеристик различных организмов, включая птиц [15–18].

В рамках исследования генетических факторов, влияющих на мясную продуктивность кур, были проанализированы полиморфизмы генов, кодирующих фактор роста гепатоцитов (*HGF*) и связывающий белок 1, ассоциированный с GRB2 основным активатором фосфатидилинозитол-3-киназы *(Gab1)*.

Фактор роста гепатоцитов (*HGF*) размером 62,83 кб расположен на 1 хромосоме. Данный ген является плейотропным многофункциональным цитокином, который способствует пролиферации взрослых миобластов и ингибирует их дифференцировку, а также усиливает их рост для регенерации тканей [19]. В ходе недавних исследований было обнаружено, что активация пути фосфоинозитид-3'-киназы (PI3K) способствует дифференцировке миобластов. В то же время активация

[1] Ройтер Я.С., Егорова А.В., Коноплева А.П. *и др.* Селекционно-племенная работа в птицеводстве. Сергиев Посад: ФНЦ «ВНИТИП»; 2016. 287 с.
[2] Веллер Д.И. Геномная селекция животных. Санкт-Петербург: Проспект науки; 2018. 207 с.

митоген-активируемой протеинкиназы/внеклеточной протеинкиназы, регулируемой сигналом (MAPK/ERK), способствует пролиферации и препятствует их дифференцировке. *HGF* выполняет двойную функцию в миогенезе клеток-сателлитов, воздействуя как на их пролиферацию, так и на дифференцировку паракринным образом [20].

Gab1 (связывающий белок 1, ассоциированный с *GRB2*) размер 97,03 расположен на 4 хромосоме. Белок GRB2, кодируемый этим геном, является членом семейства мультисубстратных белков-докеров IRS1-подобных [21]. Он — важный медиатор разветвленного тубулогенеза, играет центральную роль в клеточном росте, трансформации и апоптозе, которые рекрутируются к рецептору *Met*. Вследствие связывания с их активированными рецепторами *Gab1*, они фосфорилируются и действуют как сайты стыковки для нижестоящих сигнальных молекул, содержащих домены SH2. Связывание *Met* с *Gab1*, в конечном итоге приводит к привлечению Grb2 и индукции каскада Ras-Raf-митоген-активируемой протеинкиназы/внеклеточной протеинкиназы [22].

Целью исследования было изучение связи однонуклеотидных полиморфизмов генов *HGF, GAB1* с показателями мясной продуктивности бройлеров мясного кросса «Смена 9».

Материал и методы исследования / Material and methods

Для проведения эксперимента выращивание цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» в количестве 559 особей проходило в виварии СГЦ «Загорское ЭПХ» — филиал ФНЦ ВНИТИП, г. Сергиев Посад в 2024 году. Птица содержалась в клеточных батареях для выращивания бройлеров с плотностью посадки 25 гол./м^2. Кормление цыплят-бройлеров подразделяли на три последовательных периода: стартовый (1–7 сутки), ростовой (8–21 сутки) и финишный (22–42 сутки). Рассыпной комбикорм был сбалансирован по комплексу питательных, минеральных веществ и биологически активных добавок. Энергетическая и питательная ценность комбикормов стартового, ростового и финишного периодов соответствовала требованиям руководства[3] . Птица содержалась 42 дня с еженедельным проведением взвешиваний. На 36-й день выращивания был произведен убой 30-ти голов бройлеров (15 самцов и 15 самок), затем анатомическая разделка не менее шести голов птицы (по три головы самцов и самок) из каждой группы, которые представляют различные генотипы[4]. Для индивидуальной оценки живой массы и анатомических показателей цыплята были мечены крылометками в суточном возрасте. В течение эксперимента животные не были подвержены боли, дистрессу и страданиям. Эвтаназия животных осуществлена в соответствии с Рекомендацией Коллегии Евразийской экономической комиссии методом, предусматривающим отсутствие дистресса и острых болевых ощущений[5].

Молекулярно-генетические исследования проводили в лаборатории прикладной генетики и молекулярной диагностики отдела селекции и генетики ФНЦ «ВНИТИП».

Для проведения анализов у всех цыплят были взяты прижизненно пробы пера в пробирку типа Эппендорф 1,5 мл с добавлением 0,9% раствора натрия хлорида. Затем из пера была извлечена пульпа. Из полученных образцов пульпы пера выделена ДНК с помощью набора для выделения нуклеиновых кислот MagPure Universal DNA Kit (Magen, Китай). Выделение происходило с помощью автоматической станции AutoPure96 (Allsheng, Китай). Определение содержания ДНК и проверка чистоты образцов проводили с помощью спектрофотометра NanoDrop (Thermo Fisher Scientific) и флуориметра Fluo-200 (Allsheng, Китай).

Характеристики однонуклеотидных полиформизмов генов *HGF*, *GAB1,* были идентифицированы с использованием базы данных Ensembl[6].

Статистический анализ проводили в компьютерной программе Excel с помощью пакета «Анализ данных». Для анализа данных по фенотипическим признакам рассчитывали среднее значение признаков (M), стандартную ошибку среднего (m) и уровень статистической значимости различий (p). Оценку достоверности различий между группами проводили с использованием двухвыборочного t-критерия Стьюдента с неравными дисперсиями.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Молекулярно-генетические исследования выявили наличие однонуклеотидных полиморфизмов в генах *HGF* и *GAB1* у кур мясного кросса «Смена 9». Для определения полиморфизмов и их взаимосвязи с показателями мясной продуктивности было проведено тестирование 301 образца ДНК кур-бройлеров и 258 образцов ДНК петушков-бройлеров данного кросса.

В таблице 1 представлены характеристики однонуклеотидных полиморфизмов в генах *HGF, GAB1.*

Как следует из данных таблицы, в изученных генах обнаружены мутации типа missense, приводящие к замене аминокислоты, что может отразиться на функциональности синтезируемого белка.

[3] Ефимов Д.Н., Егорова А.В., Емануйлова Ж.В. *и др.* Руководство по работе с птицей мясного кросса «Смена 9» с аутосексной материнской родительской формой. Сергиев Посад: ФНЦ «ВНИТИП»; 2021. 95 с.
[4] Лукашенко В.С., Лысенко М.А., Столляр Т.А., Кавтарашвили А.Ш. Методика проведения анатомической разделки тушек, органолептической оценки качества мяса и яиц сельскохозяйственной птицы и морфологии яиц. Сергиев Посад: ВНИТИП; 2013. 35 с.
[5] Рекомендацией Коллегии Евразийской экономической комиссии от 14 ноября 2023 г. № 33 "О Руководстве по работе с лабораторными (экспериментальными) животными при проведении доклинических (неклинических) исследований"
[6] Ensembl genome browser. European Bioinformatics Institute (EMBL-EBI), Wellcome Sanger Institute, United Kingdom. Available at: https://www.ensembl.org (accessed: 2026)

Таблица 1. **Однонуклеотидные полиморфизмы генов *HGF, GAB1***
Table. 1. **Single-nucleotide polymorphisms in the *HGF* and *GAB1* genes**

Ген	Хромосома	Позиция	Название	Тип мутации	Кодон	Амино-кислота
HGF	1	10911188	rs313956452	missense variant	ATA/GTA	I/V
GAB1	4	30134571	rs313780029	missense variant	ATG/ACG	M/T

Для выявления представленных полиморфизмов разработаны тест-системы для анализа методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (RT-PCR) с использованием амплификаторов QuantStudio 5 и Gentier 96E.

Для полиморфизма rs313956452 гена *HGF* подобраны прямой праймер (AAATCCTAACTTACTTTGCC), обратный праймер (CTGGAATTAGCAATAGTAGC), а также два аллель-специфичных зонда: 5′FAM-CT (G-LNA)(A-LNA)(T-LNA)ATACGG(T-LNA)(C-LNA) C-BHQ1 и 5′VIC-CT(G-LNA)(G-LNA)TATACGG(T-LNA) (C-LNA)C-BHQ2.

Для полиморфизма rs313780029 гена *GAB1* подобраны прямой праймер (CGGTCAGTTCTTTACAAG), обратный праймер (TAGGTTCAGGTTTTTTAC), а также два аллель-специфичных зонда: 5′FAM-CA (T-LNA)(G-LNA)CA(A-LNA)GCAGAATCT(T-LNA) C-BHQ1 и 5′VIC-CA(C-LNA)(G-LNA)CA(A-LNA)GCA GAATCT(T-LNA)C-BHQ2.

В результате анализа генотипирования по полиморфизму rs313956452 гена *HGF* были идентифицированы три генотипа. Получены следующие данные: гомозиготный генотип АА обнаружен у 33% (100 голов) выборки; гетерозиготный генотип AG выявлен у 55% (165 голов); гомозиготный генотип GG был у 12% (36 голов). Большинство исследованных цыплят оказались носителями гетерозиготного генотипа по гену *HGF* (rs313956452). Частота аллели А составила 0,61, G — 0,39. Наблюдается преобладание аллели А и генотипа AG.

Анализ генотипирования по полиморфизму rs313780029 гена *GAB1* дал следующие результаты: гомозиготный генотип ТТ имеют 60% выборки (192 головы), гетерозиготный генотип ТС — 30% (94 головы), гомозиготный генотип СС — 10% цыплят-бройлеров (15 голов). Частота аллеля Т составила 0,75, аллеля С — 0,25. Следовательно, по гену *GAB1* (rs313780029) наблюдается преобладание генотипа ТТ и доминирование аллели Т.

Был проведен анализ связи однонуклеотидного полиморфизма rs313956452 гена *HGF* с массой бройлеров в разном возрасте (табл. 2)

В результате проведения геномной оценки бройлеров по различным генотипам гена *HGF* (rs313956452) были получены средние значения живой массы. Согласно данным, представленным в таблице 2, курочки с генотипом АА демонстрируют достоверно более высокие показатели живой массы на 35-е (2209,29 ± 20,22 г) и 42-е (2785,91 ± 29,35 г) сутки по сравнению с курами с генотипом GG. Аналогично, петушки с генотипом АА демонстрируют статистически значимое увеличение живой массы в период с 28-го по 42-й день жизни.

В рамках исследования полиморфизма гена *HGF* (rs313956452) была проведена оценка мясной продуктивности бройлеров (♂) различных генотипов путем убоя и анатомической разделки тушек на 36-й день выращивания. В ходе работы были определены следующие показатели: предубойная живая масса бройлеров; масса потрошеных тушек; убойный выход (табл.3). Кроме того, был проведен расчет выхода мышечной ткани из основных частей тушки. (рис. 1).

На основании анализа данных, представленных в таблице 3, установлено, что показатели предубойной живой массы, массы потрошеных тушек и убойного выхода не имеют статистически значимых различий в зависимости от генотипа в локусе *HGF* (rs313956452). Масса мышц из

Таблица 2. **Ассоциации однонуклеотидного полиморфизма rs313956452 гена *HGF* с живой массой бройлеров**
Table 2. **Associations between the rs313956452 single-nucleotide polymorphism of the *HGF* gene and live weight in broilers**

Возраст бройлеров, сутки	Живая масса, г		
	♀*HGF* (rs313956452)		
	AA (n = 100)	AG (n = 165)	GG (n = 36)
28	1638,3 ± 12,17	1634,4 ± 12,73	1615,6 ± 30,57
35	2209,3 ± 20,22 A	2191,73 ± 17,26 A	2076,9 ± 47,09 B
42	2785,9 ± 29,35 A	2700,6 ± 26,47 B	2599,0 ± 71,26 B
	♂*HGF*(rs313956452)		
	AA (n = 98)	AG (n = 128)	GG (n = 32)
28	1847,0 ± 16,14 A	1812,2 ± 14,11 AB	1753,4 ± 36,55 B
35	2554,7 ± 23,48 A	2500,0 ± 20,32 AB	2433,6 ± 52,97 B
42	3229,8 ± 34,47 A	3146,8 ± 31,97 A	3004,2 ± 60,93 B

Примечание: здесь и далее А, В — значения между показателями статистически значимы при наличии разных букв в верхнем индексе, $p < 0,05$

Таблица 3. **Влияние однонуклеотидного полиморфизма rs313956452 гена HGF на показатели убойного выхода петушков (♂) (убой 36 суток)**
Table 3. **Effect of the rs313956452 single-nucleotide polymorphism in the HGF gene on slaughter yield of male chicks (slaughtered at 36 days)**

Показатель	Генотип *HGF* (rs313956452)					
	AA (n = 7)		AG (n = 5)		GG (n = 3)	
Предубойная живая масса, г	2560,2 ± 65,73		2660,3 ± 96,25		2539,0 ± 157,90	
Масса потрошенной тушки, г	1882,7 ± 56,86		1945,3 ± 68,53		1872,4 ± 99,31	
Убойный выход, %	73,5		73,1		73,5	
Результаты анатомической разделки						
Часть тушки	**Масса, г**	**% от живой массы**	**Масса, г**	**% от живой массы**	**Масса, г**	**% от живой массы**
Грудь, г	536,1 ± 34,08	20,9	504,0 ± 11,01	19,0	525,5 ± 7,06	20,7
Бедро, г	263,2 ± 6,66	10,3	259,4 ± 8,95	9,7	237,9 ± 14,90	8,8
Голень, г	157,7 ± 3,99	6,2	155,4 ± 5,37	5,8	139,7 ± 13,31	5,5
Абдоминальный жир, г	19,8 ± 1,75	0,8	23,8 ± 3,21	0,9	23,0 ± 2,30	0,9

основных частей тушки, таких как грудка, бедро и голень, была несколько выше у петушков с генотипом AA (рис. 1). В результате исследования также выявлена тенденция к увеличению процентного соотношения массы грудки, бедра и голени к общей живой массе у петушков с указанным генотипом. Конкретные значения составили 20,9% для грудки, 10,3% для бедра и 6,2% для голени у петушков с генотипом AA.

Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что генотип AA в локусе *HGF* (rs313956452) обладает потенциальной селекционной значимостью и может способствует улучшению продуктивных характеристик, что имеет важное значение для реализации программ селекции, направленных на повышение их эффективности.

В таблице 4 представлены результаты анализа связи однонуклеотидного полиморфизма rs313780029 в гене *GAB1* с живой массой и приростом живой массы бройлеров (♀) в разном возрасте.

В результате изучения полиморфизма rs313780029 гена *GAB1* было установлено, что курочки с генотипом CC имеют статистически значимое превосходство по живой массе в сравнении с курочками, обладающими генотипом TC, на 7-й, 14-й, 21-й, 28-й день эксперимента.

На основе представленных данных были проанализированы показатели убойного выхода (табл. 5) и анатомического состава тушки цыплят-бройлеров (рис. 2) в зависимости от генетического полиморфизма по локусу rs313780029 гена *GAB1*.

Результаты анализа выявили следующие тенденции: у курочек с генотипами CC и TC показатель убойного выхода составил 74,4%, это ниже, чем у курочек с генотипом TT (74,9%). В процентном соотношении от общей массы тела курочек с генотипом CC доля мышечной ткани из области бедра составила 10,1%, из области голени — 6,0%, а абдоминального жира — 1,2%. Эти показатели оказались выше по сравнению с аналогичными параметрами у кур с генотипами TT и TC.

Анализ общедоступных источников не выявил значимого влияния генов *HGF* (фактор роста гепатоцитов) и *GAB1* (Grb2-associated-binding protein 1) на рост и мясную продуктивность кур. Однако, исследования, проведенные R. Gal-Levi и соавторами [21], продемонстрировали, что фактор роста гепатоцитов оказывает значительное воздействие на регенерацию мышечной ткани у кур.

В свою очередь, A. Yamane *et al.* [23] установили влияние *HGF* на процессы дифференцировки и пролиферации миобластов языка в органокультуре

Рис. 1. Влияние однонуклеотидного полиморфизма rs313956452 гена *HGF* на показатели морфологического состава тушки петушков (♂) (убой 36 суток)

Fig. 1. Effect of the rs313956452 single-nucleotide polymorphism in the *HGF* gene on morphological composition parameters of male chicks (♂) (slaughtered at 36 days)

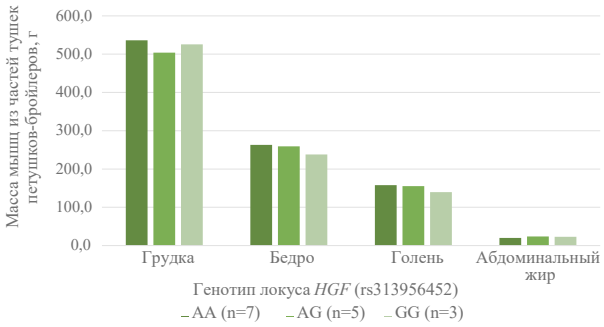


Таблица 4. **Живая масса бройлеров (♀) в зависимости от генотипа по SNP rs313780029 в гене *GAB1***

Table 4. **Live weight of broiler hens (♀) by genotype of rs313780029 SNP in the *GAB1* gene**

Возраст бройлеров, сутки	Живая масса, г		
	TT (n = 192)	TC (n = 94)	CC (n = 15)
1	42,5 ± 0,16	42,3 ± 0,24	42,5 ± 0,48
7	194,4 ± 1,57 AB	189,2 ± 2,49 A	201,9 ± 3,49 B
14	522,5 ± 3,85 AB	507,9 ± 6,64 A	530,6 ± 7,96 B
21	1043,3 ± 7,14 A	1017,4 ± 10,38 B	1055,5 ± 11,95 A
28	1640,3 ± 11,28 A	1612,7 ± 16,11 A	1675,9 ± 13,12 B
35	2184,6 ± 17,09	2172,9 ± 21,77	2241,9 ± 47,13
42	2741,0 ± 23,54	2680,7 ± 35,78	2637,8 ± 131,04

Рис. 2. Связь однонуклеотидного полиморфизма rs313780029 гена *GAB1* с показателями морфологического состава тушки цыплят-бройлеров (♀) (убой 36 сутки).

Fig. 2. Association between the rs313780029 single-nucleotide polymorphism in the *GAB1* gene and indicators of the morphological composition of broiler chicken carcasses (♀) (slaughtered at 36 days)

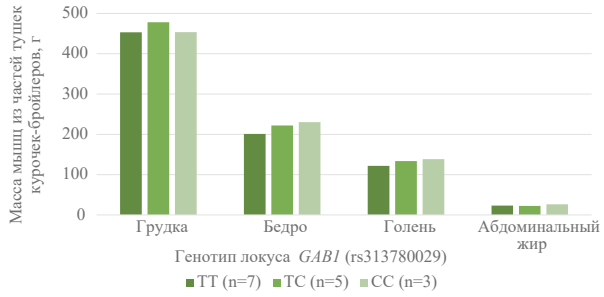


Таблица 5. **Связь однонуклеотидного полиморфизма rs313780029 гена *GAB1* с показателями убойного выхода, морфологического состава тушки цыплят-бройлеров (♀) (убой 36 сутки)**

Table 5. **Association of the rs313780029 single-nucleotide polymorphism in the *GAB1* gene with slaughter yield and carcass composition of female broiler chickens (slaughtered at 36 days)**

Показатель	Генотип *GAB1* (rs313780029)					
	TT (n = 7)		TC (n = 5)		CC (n = 3)	
Предубойная живая масса, г	2188,2 ± 43,72		2240,1 ± 138,76		2290,0 ± 47,01	
Масса потрошеной тушки, г	1639,0 ± 31,03		1667,6 ± 109,71		1703,5 ± 19,75	
Убойный выход, %	74,9		74,4		74,4	
Результаты анатомической разделки						
Часть тушки	**Масса, г**	**% от живой массы**	**Масса, г**	**% от живой массы**	**Масса, г**	**% от живой массы**
Грудка, г	453,2 ± 17,90	20,7	478,3 ± 28,62	21,4	453,8 ± 23,11	19,8
Бедро, г	201,1 ± 9,41	9,2	222,1 ± 14,00	9,9	230,3 ± 20,83	10,1
Голень, г	121,7 ± 5,63	5,5	133,8 ± 8,43	6,0	138,6 ± 12,51	6,0
Абдоминальный жир, г	23,3 ± 3,95	1,1	22,2 ± 5,23	1,0	26,2 ± 3,78	1,2

E13 у мышей. L. Zhang *et al*. [24] обнаружили, что активация гена *GAB1* наблюдается при *HGF*-индуцированной клеточной пролиферации.

Следует отметить, что параметры мясной продуктивности определяются совокупным действием множества генов [25, 26]. Для выявления наиболее перспективных вариантов используются генетические маркеры. В частности, совокупность статистически значимых ассоциаций между рядом генов-кандидатов и показателями роста и продуктивности кур может послужить основой для разработки тест-системы, предназначенной для селекционных целей.

Выводы/Conclusion

В ходе анализа генотипирования по полиморфизму rs313956452 в гене *HGF* было установлено распределение частот генотипов и аллелей этого полиморфизма. Преобладающим оказался аллель A и генотип AG.

Анализ генотипирования по полиморфизму rs313780029 в гене *GAB1* показал, что наиболее часто встречающимся является аллель T и генотип TT.

Изучение связи однонуклеотидных полиморфизмов генов *HGF* и *GAB1* с мясными характеристиками цыплят-бройлеров породы «Смена 9» позволило обнаружить значимые генетические маркеры, потенциально улучшающие продуктивность. Анализ данных позволяет предположить, что генотип AA в локусе *HGF* (rs313956452) имеет перспективы для селекции, так как он благоприятно сказывается на результатах анатомической разделки цыплят-бройлеров. Аллель C в полиморфном локусе rs313780029 гена *GAB1* также демонстрировал тенденцию к улучшению мясных характеристик у бройлеров в возрасте до 36 дней. Эти данные могут быть рассмотрены как потенциальный дополнительный фактор, заслуживающий дальнейшего изучения на более обширной выборке, который способствует улучшению мясных характеристик птицы.

Представленное исследование позволило идентифицировать гены-кандидаты *HGF, GAB1*, которые ассоциированы с параметрами мясной продуктивности. Эти данные представляют значительную ценность для программ селекции бройлеров, так как они могут быть использованы для разработки эффективных стратегий генетического улучшения. Обнаруженные однонуклеотидные полиморфизмы и гены могут служить генетическими маркерами для селекционного отбора особей с повышенной мясной продуктивностью. Это, в свою очередь, способствует повышению экономической эффективности выращивания бройлеров.

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

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 Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования, соглашение №075-15-2025-189 (номер государственного учета НИОКТР 125050605771-9).

FUNDING

This research was conducted with financial support from the Russian Federation, represented by the Ministry of Science and Higher Education, under Agreement No. 075-15-2025-189 (State Registration Number for Scientific Research and Development: 125050605771-9).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Фисинин В.И. Динамика и перспективы развития мирового и отечественного птицеводства. Результаты работы яичного и мясного птицеводства России в 2024 году. *Птицеводство*. 2025; (3): 4–10. EDN IGUKIC

2. Havenstein G.B., Ferket P.R., Qureshi M.A. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science*. 2003; 82(10): 1500–1508. https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1500

3. Thiruvenkadan A.K., Prabakaran R., Panneerselvam S. Broiler breeding strategies over the decades: an overview. *World's Poultry Science Journal*. 2011; 67(2): 309–336. https://doi.org/10.1017/S0043933911000328

4. Siegel P.B., Dodgson J.B., Andersson L. Progress from Chicken Genetics to the Chicken Genome. *Poultry Science*. 2006; 85(12): 2050–2060. https://doi.org/10.1093/ps/85.12.2050

5. Егорова А.В. Основные направления работы с мясными курами родительского стада бройлеров. *Птицеводство*. 2017; (3): 16–21. EDN YLKCFR

6. Yang X. *et al.* Identification of Major Loci and Candidate Genes for Meat Production-Related Traits in Broilers. *Frontiers in Genetics*. 2021; 12: 645107. https://doi.org/10.3389/fgene.2021.645107

7. Wolc A. Understanding genomic selection in poultry breeding. *World's Poultry Science Journal*. 2014; 70(2): 309–314. https://doi.org/10.1017/S0043933914000324

8. Mir N.A., Rafiq A., Kumar F., Singh V., Shukla V. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 54(10): 2997–3009. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2789-z

9. Lee J.H. Special Issue: Poultry Genetics, Breeding and Biotechnology. *Genes*. 2021; 12(11): 1744. https://doi.org/10.3390/genes12111744

10. Liu Z. *et al.* Design and evaluation of a custom 50K Infinium SNP array for egg-type chickens. *Poultry Science*. 2021; 100(5): 101044. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101044

11. Wang J. *et al.* Elucidation of the genetic determination of body weight and size in Chinese local chicken breeds by large-scale genomic analyses. *BMC Genomics*. 2024; 25: 296. https://doi.org/10.1186/s12864-024-10185-6

12. Коршунова Л.Г., Карапетян Р.В., Комарчев А.С., Куликов Е.И. Ассоциации однонуклеотидных замен в генах-кандидатах с хозяйственно полезными признаками у кур (*Gallus gallus domesticus* L.) (обзор). *Сельскохозяйственная биология.* 2023; 58(2): 205–222. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.205rus

REFERENCES

1.Fisinin V.I. Dynamics and prospects of the development of the world's and ignali poultry production. Poultry egg and meat production in Russian Federation in 2024. *Ptitsevodstvo*. 2025; (3): 4–10 (in Russian). EDN IGUKIC

2. Havenstein G.B., Ferket P.R., Qureshi M.A. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science*. 2003; 82(10): 1500–1508. https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1500

3. Thiruvenkadan A.K., Prabakaran R., Panneerselvam S. Broiler breeding strategies over the decades: an overview. *World's Poultry Science Journal*. 2011; 67(2): 309–336. https://doi.org/10.1017/S0043933911000328

4. Siegel P.B., Dodgson J.B., Andersson L. Progress from Chicken Genetics to the Chicken Genome. *Poultry Science*. 2006; 85(12): 2050–2060. https://doi.org/10.1093/ps/85.12.2050

5. Egorova A.V. The Principal Directions in Selection of Broiler Breeder Females. *Ptitsevodstvo*. 2017; (3): 16–21 (in Russian). EDN YLKCFR

6. Yang X. *et al.* Identification of Major Loci and Candidate Genes for Meat Production-Related Traits in Broilers. *Frontiers in Genetics*. 2021; 12: 645107. https://doi.org/10.3389/fgene.2021.645107

7. Wolc A. Understanding genomic selection in poultry breeding. *World's Poultry Science Journal*. 2014; 70(2): 309–314. https://doi.org/10.1017/S0043933914000324

8. Mir N.A., Rafiq A., Kumar F., Singh V., Shukla V. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 54(10): 2997–3009. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2789-z

9. Lee J.H. Special Issue: Poultry Genetics, Breeding and Biotechnology. *Genes*. 2021; 12(11): 1744. https://doi.org/10.3390/genes12111744

10. Liu Z. *et al.* Design and evaluation of a custom 50K Infinium SNP array for egg-type chickens. *Poultry Science*. 2021; 100(5): 101044. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101044

11. Wang J. *et al.* Elucidation of the genetic determination of body weight and size in Chinese local chicken breeds by large-scale genomic analyses. *BMC Genomics*. 2024; 25: 296. https://doi.org/10.1186/s12864-024-10185-6

12. Korshunova L.G., Karapetyan R.V., Komarchev A.S., Kulikov E.I. Association of single nucleotide polymorphisms in candidate genes with economically useful traits in chickens (*Gallus gallus domesticus* L.) (review). *Agricultural Biology*. 2023; 58(2): 205–222. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.205eng

13. Pampouille E. *et al.* Mapping QTL for white striping in relation to breast muscle yield and meat quality traits in broiler chickens. *BMC Genomics*. 2018; 19: 202. https://doi.org/10.1186/s12864-018-4598-9
14. Abdelmanova A.S. *et al.* Unveiling Comparative Genomic Trajectories of Selection and Key Candidate Genes in Egg-Type Russian White and Meat-Type White Cornish Chickens. *Biology*. 2021; 10(9): 876. https://doi.org/10.3390/biology10090876
15. Ouyang J.H. *et al.* Single nucleotide polymorphism (SNP) at the *GHR* gene and its associations with chicken growth and fat deposition traits. *British Poultry Science*. 2008; 49(2): 87–95. https://doi.org/10.1080/00071660801938817
16. Zhu S.K. *et al.* Adjacent SNPs in the transcriptional regulatory region of the *FADS2* gene associated with fatty acid and growth traits in chickens. *Genetics and Molecular Research*. 2014; 13(2): 3329–3336.
17. Romanov M.N. *et al.* Dissecting Selective Signatures and Candidate Genes in Grandparent Lines Subject to High Selection Pressure for Broiler Production and in a Local Russian Chicken Breed of Ushanka. *Genes*. 2024; 15(4): 524. https://doi.org/10.3390/genes15040524
18. Luo N. *et al.* Identification of regulatory loci and candidate genes related to body weight traits in broilers based on different models. *BMC Genomics*. 2025; 26: 513. https://doi.org/10.1186/s12864-025-11651-5
19. Gal-Levi R., Leshem Y., Aoki S., Nakamura T., Halevy O. Hepatocyte growth factor plays a dual role in regulating skeletal muscle satellite cell proliferation and differentiation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular Cell Research*. 1998; 1402(1): 39–51. https://doi.org/10.1016/s0167-4889(97)00124-9
20. Furge K.A., Zhang Y.-W., Vande Woude G.F. Met receptor tyrosine kinase: enhanced signaling through adapter proteins. *Oncogene*. 2000; 19(49): 5582–5589. https://doi.org/10.1038/sj.onc.1203859
21. Holgado-Madruga M., Emlet D.R., Moscatello D.K., Godwin A.K., Wong A.J. A Grb2-associated docking protein in EGF- and insulin-receptor ignaling. *Nature*. 1996; 379(6565): 560–564. https://doi.org/10.1038/379560a0
22. Lemarié C.A., Lehoux S. The Gift of Gab1 (Grb-2-Associated Binder 1). *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2011; 31(5): 956–957. https://doi.org/10.1161/atvbaha.111.225987
23. Yamane A. *et al.* Exogenous hepatocyte growth factor inhibits myoblast differentiation by inducing myf5 expression and suppressing myoD expression in an organ culture system of embryonic mouse tongue. *European Journal of Oral Sciences*. 2004; 112(2): 177–181. https://doi.org/10.1111/j.0909-8836.2004.00106.x
24. Zhang L., Zuo J., Huang S., Chang Q. Endothelial progenitor cells overexpressing Grb2-associated binder 1 for in vitro-constructed tissue-engineered heart valves. Кардиология. 2022; 62(7): 38–43. https://doi.org/10.18087/cardio.2022.7.n2100.
25. Вахрамеев А.Б., Позовникова М.В., Рябова А.Е., Федорова З.Л., Дементьева Н.В. Сравнительный анализ фенотипической изменчивости кур различного направления продуктивности. *Аграрная наука.* 2025; 396 (07): 92–100. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-92-100
26. Дысин А.П., Баркова О.Ю. Молекулярно-генетические и эпигенетические механизмы регуляции мясной продуктивности у кур: современные данные об эпигенетических, метаболических и породных особенностях. *Аграрная наука*. 2025; 399 (10): 142–158. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-142-158

13. Pampouille E. *et al.* Mapping QTL for white striping in relation to breast muscle yield and meat quality traits in broiler chickens. *BMC Genomics*. 2018; 19: 202. https://doi.org/10.1186/s12864-018-4598-9
14. Abdelmanova A.S. *et al.* Unveiling Comparative Genomic Trajectories of Selection and Key Candidate Genes in Egg-Type Russian White and Meat-Type White Cornish Chickens. *Biology*. 2021; 10(9): 876. https://doi.org/10.3390/biology10090876
15. Ouyang J.H. *et al.* Single nucleotide polymorphism (SNP) at the *GHR* gene and its associations with chicken growth and fat deposition traits. *British Poultry Science*. 2008; 49(2): 87–95. https://doi.org/10.1080/00071660801938817
16. Zhu S.K. *et al.* Adjacent SNPs in the transcriptional regulatory region of the *FADS2* gene associated with fatty acid and growth traits in chickens. *Genetics and Molecular Research*. 2014; 13(2): 3329–3336.
17. Romanov M.N. *et al.* Dissecting Selective Signatures and Candidate Genes in Grandparent Lines Subject to High Selection Pressure for Broiler Production and in a Local Russian Chicken Breed of Ushanka. *Genes*. 2024; 15(4): 524. https://doi.org/10.3390/genes15040524
18. Luo N. *et al.* Identification of regulatory loci and candidate genes related to body weight traits in broilers based on different models. *BMC Genomics*. 2025; 26: 513. https://doi.org/10.1186/s12864-025-11651-5
19. Gal-Levi R., Leshem Y., Aoki S., Nakamura T., Halevy O. Hepatocyte growth factor plays a dual role in regulating skeletal muscle satellite cell proliferation and differentiation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular Cell Research*. 1998; 1402(1): 39–51. https://doi.org/10.1016/s0167-4889(97)00124-9
20. Furge K.A., Zhang Y.-W., Vande Woude G.F. Met receptor tyrosine kinase: enhanced signaling through adapter proteins. *Oncogene*. 2000; 19(49): 5582–5589. https://doi.org/10.1038/sj.onc.1203859
21. Holgado-Madruga M., Emlet D.R., Moscatello D.K., Godwin A.K., Wong A.J. A Grb2-associated docking protein in EGF- and insulin-receptor ignaling. *Nature*. 1996; 379(6565): 560–564. https://doi.org/10.1038/379560a0
22. Lemarié C.A., Lehoux S. The Gift of Gab1 (Grb-2-Associated Binder 1). *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2011; 31(5): 956–957. https://doi.org/10.1161/atvbaha.111.225987
23. Yamane A. *et al.* Exogenous hepatocyte growth factor inhibits myoblast differentiation by inducing myf5 expression and suppressing myoD expression in an organ culture system of embryonic mouse tongue. *European Journal of Oral Sciences*. 2004; 112(2): 177–181. https://doi.org/10.1111/j.0909-8836.2004.00106.x
24. Zhang L., Zuo J., Huang S., Chang Q. Endothelial progenitor cells overexpressing Grb2-associated binder 1 for in vitro-constructed tissue-engineered heart valves. *Kardiologiia*. 2022; 62(7): 38–43. https://doi.org/10.18087/cardio.2022.7.n2100
25. Vakhrameev A.B., Pozovnikova M.V., Ryabova A.E., Fedorova Z.L., Dementieva N.V. Comparative analysis of the phenotypic variability of chickens of different productivity directions. *Agrarian science.* 2025; 396 (07): 92–100 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-92-100
26. Dysin A.P., Barkova O.Yu. Molecular genetic and epigenetic mechanisms of regulation of meat productivity in chickens: recent findings on epigenetic, metabolic and breed features. *Agrarian science.* 2025; 399 (10): 142–158 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-142-158

ОБ АВТОРАХ

Людмила Георгиевна Коршунова
доктор биологических наук, главный научный сотрудник
lg@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0002-4393-7499

Егор Игоревич Куликов
научный сотрудник, заведующий лабораторией
kulikovegor33@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-5553-4454

Вера Николаевна Мартынова
аспирант
veramartnik@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0000-7626-0990

Рубен Ваагнович Карапетян
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
ruben@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0001-6610-7749

Дмитрий Михайлович Дмитренко
аспирант, младший научный сотрудник
dmitrenko.dmitry1999@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0001-6027-2169

Арина Константиновна Кравченко
аспирант, младший научный сотрудник
arinkakravchenko@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0009-0986-4626

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» (ФНЦ «ВНИТИП»),
ул. Птицеградская, 10. Сергиев Посад, Московская область, 141311, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila Georgievna Korshunova
Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher
lg@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0002-4393-7499

Egor Igorevich Kulikov
Researcher, Head of the Laboratory
kulikovegor33@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-5553-4454

Vera Nikolaevna Martynova
postgraduate student
veramartnik@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0000-7626-0990

Ruben Vahagnovich Karapetyan
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
ruben@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0001-6610-7749

Dmitry Mikhailovich Dmitrenko
postgraduate student, Junior Researcher
dmitrenko.dmitry1999@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0001-6027-2169

Arina Konstantinovna Kravchenko
postgraduate student, Junior Researcher
arinkakravchenko@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0009-0986-4626

All-Russian Research and Technological Poultry Institute (FSC ARRTPI),

10 Ptitsegradskaya st., Sergiev Posad, Moscow Region, 141311, Russia

УДК 636.1.082:636.1.088

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-116-124

М.А. Политова

ООО «Экспертный центр мониторинга эпизоотии и генетики», Москва, Россия

✉ *politova-marina@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 07.06.2026
Одобрена после рецензирования: 07.08.2026
Принята к публикации: 21.08.2026

© Политова М.А.

Методические подходы к оценке фенотипа и племенной ценности лошадей по собственной работоспособности в коневодстве спортивного направления на примере русской верховой породы в выездке

РЕЗЮМЕ

В верховом коневодстве спортивного направления в условиях ограниченного генофонда и геополитических изменений особенно актуальна интенсификация селекции и объективная оценка фенотипа и племенной ценности лошадей по собственной работоспособности. Традиционные подходы, основанные на наивысшем пожизненном достижении, не учитывают количество стартов и возрастные особенности, что приводит к искажению оценок. Целью исследования являлась разработка методических подходов к оценке фенотипа и племенной ценности лошадей по собственной работоспособности в коневодстве спортивного направления на примере русской верховой породы в выездке. Материалом для исследования послужили результаты всех выступлений в Российской Федерации лошадей русской верховой породы в выездке за 2010–2025 гг. Для оценки фенотипа использовались средний корректированный трансформированный ранг за сезон (КТР), сумма КТР за сезон, сглаженный показатель КТР (R) и стандартизированная оценка фенотипа (СОФ), рассчитанная по среднему КТР с учетом групповых средних и стандартных отклонений. Племенная ценность оценивалась методом наилучшего линейного несмещенного прогноза (BLUP, Animal Model). Установлены коэффициенты k для расчета сглаженного параметра КТР (R) в русской верховой породе в выездке. Определены коэффициенты ранговой корреляции между показателями, предложены упрощенные формулы расчета СОФ и калибровка бонитировочной шкалы. Показано, что сглаженный показатель R хорошо согласуется с EBV и может использоваться как фенотипическая альтернатива BLUP при ограниченном объеме данных, в то время как СОФ может служить инструментом упрощенной оценки при отсутствии сведений о количестве стартов. Предложенный подход пригоден для практической оценки работоспособности лошадей в спортивном коневодстве, а также для ранжирования животных при недостатке данных, необходимых для полноформатных генетических расчетов.

Ключевые слова: коневодство, работоспособность, племенная ценность, фенотип, русская верховая, конный спорт, выездка, конкур

Для цитирования: Политова М.А. Методические подходы к оценке фенотипа и племенной ценности лошадей по собственной работоспособности в коневодстве спортивного направления на примере русской верховой породы в выездке. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 116–124.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-116-124

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-116-124

Marina A. Politova

Expert Center for Epizootic Monitoring and Genetics, Moscow, Russia

✉ *politova-marina@yandex.ru*

Received by the editorial office: 07.06.2026
Accepted in revised: 07.08.2026
Accepted for publication: 21.08.2026

© Politova M.A.

Methodological approaches to phenotype and breeding value assessment of horses based on their performance in dressage: a case study of the Russian Riding breed

ABSTRACT

In sport horse breeding under conditions of a limited gene pool and geopolitical changes, the intensification of selection and obtaining an objective assessment of phenotypes and breeding values based on horses' performance have become especially important. Traditional approaches based on highest lifetime achievement don't take into account the number of starts and age-related characteristics, which leads to biased estimations. The aim of the study was to develop methodological approaches for assessing of phenotype and breeding value of horses by their own performance in sport, using the Russian Riding breed in dressage as a case study. The material consists of the competition results of all Russian Riding horses in dressage from 2010 to 2025. To assess the phenotype used the corrected transformed rank for the season (KTR), the sum of KTR, the Smoothed indicator R, and standardized phenotype assessment (SPA), calculated from average KTR using group means and standard deviations. Breeding value was estimated using the best linear unbiased prediction (BLUP) method, Animal Model. The shrinkage parameter k were established for the Smoothed indicator R of the Russian Riding horses in dressage. Rank correlations between different indicators were determined, simplified SPA formulas and a calibration of the (grading) bonitation scale were proposed. It was shown that the Smoothed indicator R agrees well with EBV and can be used as a phenotypic alternative to BLUP for assessing horses' performance. The SPA (standardized phenotype assessment) can be used as a simplified assessment tool when start data are unavailable. The results indicate that the proposed approach is suitable for the practical evaluation of horses' performance in sport horse breeding, as well as for ranking animals when the data required for full-scale genetic calculations are insufficient.

Key words: horse breeding, performance, breeding value, phenotype, Russian Riding horse, equestrian sport, dressage, show jumping

For citation: Politova M.A. Methodological approaches to phenotype and breeding value assessment of horses based on their performance in dressage: a case study of the Russian Riding breed. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 116–124 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-116-124

Введение/Introduction

Определение генетического потенциала животных, использующихся в воспроизводстве, является важным элементом племенной работы. Для оценки фенотипа и племенной ценности по продуктивности у лошадей, используемых для получения мясной и молочной продукции, выполнения физической работы или участвующих в скаковых и рысистых испытаниях, методики уже предложены1. Однако при оценке работоспособности лошадей верховых пород, которые в настоящее время используются в качестве партнеров человека в профессиональном конном спорте, научно-обоснованной системы оценки предложено не было. В инструкции по бонитировке лошадей заводских пород, утвержденной в 1990 году[2], оценка по работоспособности в конном спорте производилась на основании пожизненного достижения, то есть наивысшему результату за карьеру. Пик спортивной карьеры лошади, как правило, приходится на возраст 12 лет и старше, что делает такую оценку практически непригодной для селекционных решений, поскольку к этому моменту значительная часть репродуктивного периода пробанда уже пройдена, а его родители выбыли из производящего состава по естественным причинам. Кроме того, пожизненная оценка не учитывает стартовую активность и возрастные особенности. Для оценки производящего состава используются также такие показатели, как доля лошадей определенного класса или достигших определенного уровня в спорте, что также не решает задачи оценки конкретной лошади по работоспособности [1, 2]. Поэтому в верховом коневодстве спортивного направления преобладает экспертная оценка работоспособности, что ограничивает объективность отбора и затрудняет селекцию.

Основным методом оценки племенной ценности в большинстве направлений животноводства, а также в европейском коневодстве, является наилучший линейный несмещенный прогноз [3–6], при этом для непосредственной оценки фенотипа базовыми традиционно используются ранговые показатели [7, 8]. Вместе с тем, применение BLUP требует больших объемов данных по фенотипам и родословным и специализированного программного обеспечения, что не всегда доступно. В таких условиях актуальной становится разработка альтернативных методик, которые, уступая BLUP в точности, были бы практически реализуемы и давали бы надежные оценки на основе доступных фенотипических данных. Один из таких подходов — байесовское сглаживание, позволяющее корректировать индивидуальные оценки с учетом числа стартов и среднего уровня по возрастной группе [9–11].

Следует принять во внимание, что до недавнего времени значительная часть высококлассных спортивных лошадей для российских всадников приобреталась за рубежом, позволяя компенсировать недостаток отечественного поголовья [12]. Не в последнюю очередь предпочтения спортсменов были обусловлены низкой конкурентоспособностью отечественных лошадей, что привело к последовательному сокращению численности маточного поголовья [13]. Снижение доступности импортного племенного материала в современных условиях только обострило необходимость интенсификации селекции и разработки эффективных методов оценки племенной ценности в отечественных верховых породах [14]. При растущем спросе на спортивных лошадей отечественная популяция оказалась неготовой к импортозамещению, поэтому перед племенными хозяйствами встала задача не просто восполнения поголовья, но и внедрения объективных методов оценки работоспособности, которые позволили бы в том числе ускорить оценку производящего состава по качеству потомства.

Целью исследования являлась разработка методических подходов к оценке фенотипа и племенной ценности лошадей по собственной работоспособности в коневодстве спортивного направления на примере русской верховой породы в выездке.

Материал и методы исследования / Material and methods

Материалом для исследования послужили технические результаты выступлений лошадей русской верховой породы в соревнованиях по выездке за 2010–2025 гг., полученные путем выгрузки из базы конноспортивного портала Equestrian. Информация о происхождении получена из системы централизованного учета Ассоциации заводчиков и владельцев русской верховой породы «Хромософт» (разработчик ООО «Айоне Финтех», Россия). Для сопоставления основных характеристик были проанализированы также результаты выступлений лошадей ганноверской породы в выездке и конкуре за 2021–2025 гг.

В качестве основного показателя, характеризующего спортивную работоспособность лошади, принят корректированный трансформированный ранг (КТР), который вычисляется по формуле:

$$КТР = 22{,}5 - \sqrt{(М + k)} + p,$$

где: М — абсолютное занятое место; k — коэффициент, определяемый уровнем программы (для детских езд 475, для вступительных — 400, для начальных — 300, для начальных продвинутых — 250,

[1] Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21.11.2023 № 159 «О внесении изменений в Порядок проведения апробации новых пород, типов, линий и кроссов сельскохозяйственных животных в государствах – членах Евразийского экономического союза». Правовой портал Евразийского экономического союза. 2023. Режим доступа: https://docs.eaeunion.org/documents/414/7771/. Дата обращения: 01.07.2026

[2] Инструкция по бонитировке племенных лошадей заводских пород (СССР). Государственная комиссия Совета министров СССР по продовольствию и закупкам; 1990.

для легких — 200, для средних — 100, для трудных тестов 1 уровня (S1*) — 50, для тестов уровня Малого приза и выше (S2*–S4*) — 0; *p* — повышающая надбавка (0 — для всех тестов до S2* включительно, 2 — для тестов уровня Среднего приза (S3*), 4 — для тестов уровня Большого приза и Переездки (S4*).

В его основу положена система, предложенная немецкими специалистами [7], в которой для уровней высшей сложности (S2*–S4*) повышающий коэффициент отсутствует, вследствие чего КТР при равном месте имеет одинаковые значения для S2*, S3* и S4*. Для дифференциации на высших уровнях сложности были введены повышающие коэффициенты p, обеспечивающие систематический сдвиг шкалы оценки на высших уровнях, так, что победа в программе Большого приза (S4*) получает более высокий КТР, чем в Малом призе (S2*). Результаты выступлений, завершившиеся снятием лошади, не учитывались. Предложенная система позволила привести результаты выступлений в программах разного уровня сложности к единой шкале, сохраняя непрерывность оценки, необходимую для последующих селекционных расчетов.

Все лошади были разделены на три возрастные группы: молодая (3–5 лет), средняя (6–8 лет) и старшая (9 лет и старше). Для расчета популяционных констант использованы данные за 2021–2025 гг. Оценка наследуемости и расчеты BLUP выполнены по данным за 2010–2025 гг. Демонстрация ранжирования и сравнение методов проведены на выборке, в которую вошли 154 лошади (837 стартов), — вся совокупность лошадей русской верховой породы, выступавших в выездке в 2025 году на территории Российской Федерации.

Фенотип по спортивной работоспособности оценивался на основании следующих показателей: средний КТР (KTP_{avg} — среднее арифметическое всех стартов лошади за сезон), сумма КТР за год (KTP_{sum}). Для учета количества стартов и снижения влияния случайных отклонений рассчитывался сглаженный КТР (R).

$$R = \frac{M \times KTP_{avg} + k \times KTP_{gr}}{M + k},$$

где: M — количество стартов лошади; KTP_{avg} — среднее арифметическое значений КТР по всем стартам лошади за сезон; *k* — коэффициент (параметр сглаживания); KTP_{gr} — КТР по группе.

Параметр *k* был принят равным среднему количеству стартов в возрастной группе за 5 лет (2021–2025 гг.) с округлением до целого числа. Он составил: 3 — для лошадей 3–5-летнего возраста, 5 — для лошадей 6-8-летнего возраста, 6 — для лошадей в возрасте 9 лет и старше. Проверка устойчивости рейтинга при выборе параметра сглаживания *k* (среднее арифметическое, медиана, средневзвешенное значение числа стартов в возрастной группе) показала, что коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил от 0,996 до 1,0 ($p < 0,001$). Это позволило остановиться на простом среднем, как наиболее простом с точки зрения зоотехнической интерпретации. Период 5 лет выбран в качестве показателя, обеспечивающего компромисс между устойчивостью оценки и ее актуальностью.

Применение подобного подхода сглаживает индивидуальные оценки: лошади с типичным числом стартов сохраняют свои индивидуальные оценки, а животные с малым числом стартов корректируются с учетом группового уровня, что снижает риск переоценки случайных успехов или недооценки неудачного сезона.

Для оценки племенной ценности применялись следующие подходы:

1) стандартизированная оценка фенотипа (СОФ), предложенная автором, представленная в шкале 100/20 (среднее группы 100, стандартное отклонение 20) и рассчитываемой по формуле:

$$СОФ = 100 + 20 \times \frac{KTP_{avg} - \overline{KTP_{gr}}}{\sigma_{gr}},$$

где: KTP_{avg} — средний КТР лошади за сезон; KTP_{gr} — средний КТР популяции и σ_{gr} — стандартное отклонение КТР популяции, рассчитанные за 5-летний период (2021–2025 гг.).

2) оценка племенной ценности EBV, полученная методом BLUP Animal Model с построением полной матрицы родства, аддитивным генетическим эффектом животного и эффектом постоянной среды, с включением в модель пола и сезона как фиксированных эффектов. EBV рассчитывалась раздельно для возрастных групп с использованием соответствующих коэффициентов наследуемости h^2, оцененных методом REML. Всего в выборку были включены данные 543 лошадей (2048 годовых записей), а полная матрица родства A включала 1809 записей.

Модель в матричной форме имела вид:

$$y = X \times b + Z \times a + W \times pe + e,$$

где: *y* — вектор наблюдений (КТР за сезон); *b* — вектор фиксированных эффектов (общее среднее, пол, сезон); *a* — вектор случайных аддитивных эффектов; *p* — вектор случайных эффектов постоянной среды; *e* — вектор остаточных эффектов.

Статистическую обработку данных, включая расчет описательных характеристик, сглаженного показателя R, а также оценку наследуемости методом REML проводили в пакете Statistica for Windows (TIBCO Software Inc., США) и Microsoft Excel (Microsoft, США). Расчеты оценок племенной ценности EBV методом BLUP выполнены в авторском программном комплексе на базе Python 3.12 (Python Software Foundation, США). Разработка и отладка скриптов осуществлялась с

поддержкой платформы Z.Ai (Jingsheng Hengxing Technology PTE. LTD., Китай) Для сравнения методов использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Работа с животными не проводилась; использовались технические результаты выступлений из открытых баз данных, поэтому этическая экспертиза не требовалась.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Оценка фенотипа лошади по спортивной работоспособности решает две принципиально разные, но взаимосвязанные задачи. Первая задача — это определение текущего статуса лошади в иерархии сверстников по результатам сезона. Такой подход широко используется при составлении спортивных рейтингов, предназначенных для наглядного сравнения достижения лошадей (а вместе с ними заводчиков, племенных объединений) за определенный период как в пределах отдельных стран, так и международными организациями. Рейтинги лошадей, публикуемые Всемирной Федерацией спортивного коннозаводства WBFSH[3] и Федерацией конного спорта FEI[4], основываются на сумме баллов, что поощряет активность. При этом показано, что количество баллов лошадей топ-уровня не зависит от породы, возраста и пола, что ставит под сомнение пригодность метода для оценки генетического потенциала [15].

В проекте Ассоциации «Росплемконзавод» «Орловский рысак в спорте»[5] при составлении рейтингов лошадей орловской рысистой породы по результатам использования в конном спорте (выездка, конкур) используется сумма набранных за сезон баллов [16]. Этот подход оправдывается выступлениями лошадей данной породы преимущественно в соревнованиях начального уровня сложности, где разброс КТР не столь высок, а количество стартов более равномерно.

С точки зрения экономической теории, такой подход не учитывает затраты на подготовку и выступления. Так, 20 выступлений за сезон требует значительно больших вложений (стартовые взносы, транспортировка, содержание). При средней результативности в 10 пунктов КТР такая лошадь получит более высокий рейтинг, чем лошадь с 5 стартами по 18 пунктов. При этом вторая лошадь демонстрирует более высокие результаты и при меньших затратах на участие в турнирах имеет более высокие шансы на призовые. Следовательно, оценка по сумме КТР не является адекватной для определения реальной экономической и спортивной эффективности использования лошади. В то же время для лошадей, проходящих испытания на ипподромах, использование суммы КТР допустимо: их содержание, процесс тренинга и система стартов финансируются по помесячной схеме, а не за отдельный старт.

Вторая задача, которую решает оценка фенотипа, — оценка перспектив использования лошади в разведении, то есть определение ее ценности для участия в воспроизводстве. В этом контексте важно не столько текущее положение в рейтинге, сколько прогноз генетического эффекта, который лошадь передаст потомству. Этот подход ориентирован на селекционеров и племенные хозяйства, которые принимают решения о допуске животных в воспроизводство [17, 18]. Расчет показателей племенной ценности в значительной степени зависит от знания популяционных характеристик и в первую очередь коэффициента наследуемости h^2. В методике, утвержденной в Республике Беларусь, показатель h^2 принят за 0,15 [19], в то время как при оценке методом REML в популяции русской верховой породы по результатам выступлений в выездке за 2010-2024 гг. он составил: 0,10 в группе молодых лошадей, 0,21 в группе лошадей среднего возраста, 0,25 — в старшем возрасте [20]. Эти показатели были приняты в качестве априорных при расчете EBV в моделях BLUP, учитывающих возрастную группу.

Другой подход может быть реализован при отборе в производящий состав с учетом процента ремонта поголовья: в этом случае зоотехнику хозяйства достаточно отобрать запланированное количество оцененных по фенотипу животных из числа находящихся в верхних строчках рейтинга, например, по показателю СОФ. Такая концепция, однако, требует объективности выбора и расчета показателей для ранжирования.

В таблице 1 приведены основные характеристики работоспособности лошадей русской верховой породы, выступавших в соревнованиях по выездке в 2025 году.

Как следует из таблицы, КТР закономерно увеличивается с возрастом, однако количество стартом существенно разнится между группами, достигая пика в среднем возрасте. Однако от 10 (в средней группе) до 50% (в молодой) лошадей стартовали только один раз в сезон, что делает их оценку по среднему КТР достаточно ненадежной,

Таблица 1. **Характеристики работоспособности лошадей русской верховой породы в 2025 году в выездке**

Table 1. **Performance characteristics of Russian Riding Breed horses in dressage in 2025**

Группа	n, гол.	Стартов на лошадь (M ± m)	min КТР	max КТР	КТРgr (M ± m)	Доля с 1 стартом, %
Молодая	8	2,9 ± 0,79	1,3	6,0	4,3 ± 0,57	50,0
Средняя	31	5,9 ± 0,85	1,2	21,4	9,2 ± 1,02	9,7
Старшая	115	5,5 ± 0,53	1,2	24,2	11,9 ± 0,59	20,9

[3] WBFSH. Rankings [Интернет]. WBFSH; 2026. Режим доступа: https://wbfsh.com/rankings (дата обращения: 06.04.2026).
[4] FEI. Rankings and Standings Page [Интернет]. FEI; 2026. Режим доступа: https://data.fei.org/Ranking/Search.aspx?rankingCode=S_WR (дата обращения: 06.04.2026)
[5] Ассоциация «Росплемконзавод». Проекты [Интернет]. Режим доступа: https://rpkz.org/proekty (дата обращения: 05.04.2026).

поскольку КТР может свидетельствовать как об одном удачном старте, так и ограниченной возможности к выступлениям по не зависящим от лошади причинам.

Снижает такую субъективность сглаженный показатель R — эмпирическое оценка работоспособности лошади, полученное путем сжатия индивидуального среднего КТР к групповому среднему с весом, зависящим от числа стартов лошади и коэффициента *k*, отражающего среднюю стартовую активность животных данной возрастной группы. При этом следует учесть, что и характеристики работоспособности (КТР лошади, КТР группы, среднее число стартов на лошадь) значительно разнятся между породами (табл. 2).

Как следует из таблицы 2, среднее число стартов на лошадь за сезон у представителей ганноверской породы в конкуре составляет от 7,6 у молодых до 10,9 у старших лошадей, тогда как у русской верховой, для которой преодоление препятствий является непрофильной дисциплиной, этот показатель существенно ниже. В выездке стартовая активность обеих пород сопоставима, при этом по абсолютным показателям работоспособности русская верховая порода несколько уступает ганноверской. Это обосновывает необходимость раздельной калибровки коэффициентов k и значений $КТР_{gr}$ при расчете сглаженного показателя по популяциям. Соответственно, коэффициент k при расчете сглаженного показателя R при оценке лошадей русской верховой породы по итогам выступления в выездке был установлен на уровне 3, 5 и 6 для молодой, средней и старшей возрастной группы соответственно.

На основании указанных параметров по каждой лошади русской верховой породы, стартовавшей в 2025 год в выездке, были рассчитаны упомянутые выше показатели, которые приведены в таблице 3. Младшая возрастная группа малочисленна, поэтому результаты по ней должны интерпретироваться с осторожностью.

Как следует из таблицы, показатель R отличается от среднего КТР и для него характерен меньший размах вариации, поскольку он является сглаженной оценкой работоспособности, но наибольший коэффициент вариации характерен для суммы КТР, являющейся кумулятивным результатом стартовой активности и качества выступлений.

Расчет указанных фенотипических показателей не требует знания коэффициента наследуемости, который в значительной мере зависит от консолидированности породы, интенсивности племенной работы и т.д. Для расчета же истинной племенной ценности знание данного параметра необходимо.

«Золотым стандартом» в современном животноводстве является метод BLUP, который требует специализированного программного обеспечения и работы с большим массивом данных. Мы сопоставили результаты оценки лошадей, стартовавших в 2025 году, методом BLUP (estimated

Таблица 2. **Средневзвешенные показатели КТР и среднее число стартов на лошадь за 2021–2025 гг. в разрезе пород, дисциплин и возрастных групп**

Table 2. **Weighted average KTR and average number of starts per horse for 2021–2025 by breed, discipline and age group**

Порода	Дисциплина	Показатель	Молодая	Средняя	Старшая
Ганноверская	Выездка	КТРgr	5,9	10,0	12,6
		Старты/гол.	3,1	5,3	6,0
	Конкур	КТРgr	3,6	5,8	5,7
		Старты/гол.	7,6	11,8	10,9
Русская верховая	Выездка	КТРgr	5,0	8,7	11,4
		Старты/гол.	2,7	4,8	5,6
	Конкур	КТРgr	2,9	3,7	3,2
		Старты/гол.	4,6	5,7	6,1

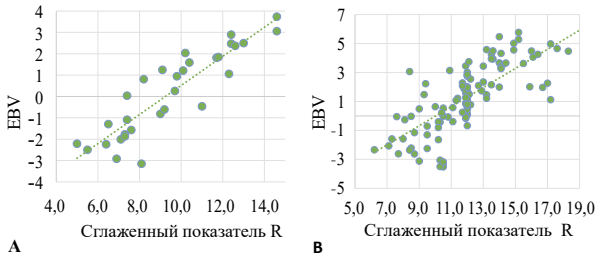
Таблица 3. **Сводные статистические показатели по возрастным группам (русская верховая, выездка, 2025)**

Table 3. **Summary statistical indicators by age groups (Russian Riding, dressage, 2025)**

Группа	Показатель	M ± m	σ	CV,%
Младшая (3-5 лет) n = 8 гол.	КТРgr	4,32 ± 0,54	1,52	35,1
	R	4,45 ± 0,17	0,49	11,1
	Сумма КТР	13,64 ± 3,81	10,78	79,0
Средняя (6–8 лет) n = 31 гол.	КТРgr	9,22 ± 1,00	5,58	60,5
	R	9,51 ± 0,46	2,58	27,1
	Сумма КТР	58,83 ± 10,39	57,84	98,3
Старшая (≥9 лет) n = 115 гол.	КТРgr	11,86 ± 0,59	6,34	53,4
	R	12,12 ± 0,25	2,64	21,8
	Сумма КТР	71,48 ± 8,70	93,28	130,5

Рис. 1. Согласование рангов оценки по сглаженному показателю R в сравнении с EBV (BLUP Animal Model) по средней (A) и старшей (B) возрастным группам (пунктиром обозначена линейная регрессия)

Fig. 1. Rank agreement between the ыmoothed indicator R and EBV (BLUP Animal Model) for the middle (A) and senior (B) age groups (the line indicates linear regression)



breeding value, EBV и его стандартизированная версия со средней 100 и стандартным отклонением 20, обозначаемая relative breeding value, RBV) со сглаженным показателем R и стандартизированной оценкой фенотипа.

Как следует из рисунка 1, ранжирование животных по сглаженному показателю R и оценке племенной ценности имеет высокую положительную корреляцию, между R и СОФ внутри возрастных

корреляция близка к единице, однако различия становятся заметным при большем расхождении числа стартов (таблица 4): показатель R дает более консервативные оценки работоспособности, чем стандартизированная оценка фенотипа, учитывающая лишь отклонение среднего КТР от группы. Это подтверждается и теоретическим расчетом: так, лошадь со средним КТР по итогам сезона 20 при одном старте будет иметь R = 13,33, при 5 — 16,0, при 10 — 17,3, при этом СОФ будет идентичным.

Адмирал Отрада с одним удачным стартом в сезоне (КТР = 20,1) получает R = 13,0, что близко к групповому среднему, при этом его оценка СОФ относит его к числу лучших лошадей в породе, но его EBV, хоть и положительна, является умеренной. В то же время Хэмми с 10 стартами и сопоставимым $КТР_{avg}$ имеет значительно более высокий R = 17,2, что отражает большую надежность оценки. При этом оценки EBV этой лошади по BLUP существенно ниже, поскольку этот показатель учитывает данные из нескольких сезонов и работоспособность родственников. В таблице 5 приведены коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для оценок по разным методам.

Как следует из таблицы, для сглаженного показателя R и СОФ характерна высокая степень согласованности с BLUP AM: внутри средней и старшей возрастных групп они дают практически идентичные ранги, что объясняется общей методологической основой — расчет на основе КТР с поправкой на сверстников. Ключевое различие между R и СОФ состоит в учете числа стартов, что критично для лошадей с низкой турнирной активностью. Высокие ранговые корреляции отражают согласованность ранжирования на исследуемой выборке, а для независимой валидации R как прогностического показателя планируются дальнейшие исследования на независимой выборке. Кроме того, оценка племенной ценности EBV не является фиксированным показателем, а пересчитывается с определенной периодичностью (например, ежегодно) по мере накопления новых данных о фенотипах и сведений о родословной. Для расчета EBV использованы коэффициенты наследуемости, полученные в предыдущем исследовании авторов [20], оценки компонент дисперсии приведены в таблице 6. При оценке компонентов дисперсии методом REML в Animal Model с полной матрицей родства в наиболее многочисленной группе лошадей 9 лет и старше h^2 составил 0,247, что подтверждает обоснованность априорных значений.

Показатель суммы набранных за сезон пунктов (сумма КТР) характеризуется хоть и высоко значимой, но более низкой ранговой корреляцией с оценкой племенной ценности EBV, что свидетельствует о существенной перестановке животных в рейтинге при смене метода оценки и подтверждает низкую объективность показателя для ранжирования по итогам сезона.

Таблица 4. **Фрагмент выборки лошадей русской верховой породы старшего возраста со сходной результативностью по итогам сезона 2025 г.**

Table 4. **A sample of Russian Riding horses senior age with similar performance results in the 2025**

Кличка	Стартов	$КТР_{avg}$	R	СОФ	EBV	RBV
Адмирал Отрада	1	20,1	13,0	137,3	+2,35	114,5
Парабеллум	3	20,9	14,9	140,5	+5,03	139,8
Боцман	5	19,9	15,5	136,7	+3,62	126,6
Амбер	5	21,8	16,4	144,0	+4,26	132,6
Брависсимо	10	21,1	17,6	141,3	+4,66	136,3
Хэмми	10	20,4	17,2	138,6	+1,13	103,0

Таблица 5. **Ранговые корреляции Спирмена между результатами оценки лошадей русской верховой породы в выездке, рассчитанными разными методами**

Table 5. **Spearman's rank correlations between evaluation results of Russian Saddle horses in dressage calculated using different methods**

Сравнение методов	Молодые (n = 8)	Средние (n = 31)	Старшие (n = 115)
R/EBV	+0,81*	+0,91***	+0,80***
СОФ/RBV	+0,81*	+0,91***	+0,81***
R/СОФ	+1,0***	+0,99***	+0,99***
Сумма КТР / EBV	+0,71 ns	+0,70***	+0,59***
$КТР_{avg}$/EBV	+0,81*	+0,91***	+0,81***

Примечание: * значимо при $p < 0,05$, ** при $p < 0,01$, *** при $p < 0,001$, ns — не значимо

Таблица 6. **Компоненты дисперсии и коэффициенты наследуемости по возрастным группам**

Table 6. **Variance components and heritability by age group**

Параметр	Молодые	Средние	Старшие
$\sigma^2 a$	0,38	5,31	8,08
$\sigma^2 pe$	1,13	9,87	20,04
$\sigma^2 e$	2,27	10,12	4,20
$\sigma^2 p$	3,78	25,31	32,32
h^2	0,10 ± 0,17	0,21 ± 0,11	0,25 ± 0,10
Повторяемость	0,40	0,60	0,87

Поскольку популяционные константы и параметры для оценки фенотипа лошади по работоспособности для обоих методов могут быть предоставлены зоотехникам хозяйств селекционным центром по породе, а для их расчета возможна разработка простейшего калькулятора, выбирать предпочтительней сглаженный показатель R, поскольку он решает проблему переоценку лошадей с единичными удачными стартами. СОФ сохраняет свое значение как упрощенный метод, применяемый при отсутствии данных о числе стартов (например, при работе с исторической информацией).

На практике зоотехник хозяйства нередко располагает только результатами выступлений лошади без доступа к предварительно рассчитанным популяционным константам. В этом случае применение полной формулы СОФ затруднено, поэтому нами предложена упрощенная формула $СОФ_{упр}$, не требующая знания σ. С учетом того, что коэффициент при ($КТР_{avg}$ – $КТР_{gr}$) в полной формуле равен 20/σ, а стандартное отклонение для возрастных групп «3–5», «6–8 лет» и «9 лет и старше» за период 2021–2025 гг. составило

соответственно 1,86; 4,73 и 5,23, то коэффициенты 20/σ с округлением до целого дают 11, 4 и 4. Базовые значения KTP_{gr} также округлены: 5, 9 и 11. В результате получены следующие формулы:

$СОФ_{упр} = 100 + 11 \times (КТР - 5)$ — для младшей возрастной группы

$СОФ_{упр} = 100 + 4 \times (КТР - 9)$ — для средней возрастной группы

$СОФ_{упр} = 100 + 4 \times (КТР - 11)$ — для старшей возрастной группы

Такие расчеты не требуют знания стандартного отклонения σ, для вычисления достаточно простейшего калькулятора без обращения к селекционному центру, что особенно важно для хозяйств с ограниченным доступом к электронным базам данных и для оперативной оценки лошадей в полевых условиях.

Согласование СОФ (полная формула) и $СОФ_{упр}$ (упрощенная) проверено на лошадях, выступавших в 2025 году, корреляция между этими показателями составляет 0,99, то есть упрощенные формулы дают практически идентичные результаты, а незначительные отклонения обусловлены округлением коэффициентов и базовых значений КТР, и не приводит к существенной потере точности.

В существующей практике коневодства переход от дискретных баллов бонитировки (от 1 до 10 баллов) к оценке племенной ценности в непрерывной шкале пока не произошел, поэтому для внедрения результатов на переходный период может быть предложена система конвертации оценки R в баллы бонитировочной шкалы.

$$Балл = 7 + \frac{R - R_{gr}}{\sigma_{gr}} \times 1,5$$

Балл 7 («достаточно хорошо») соответствует среднему показателю, а коэффициент 1,5 выбран таким образом, что диапазон R преобразовался в диапазон $R \pm 2\sigma$ укладывался в шкалу от 4 до 10 баллов. Баллы от 1 до 3 зарезервированы для животных, не имевших стартов и/или не проявивших работоспособность, как это предусматривала инструкция по бонитировке.

Предложенная шкала позволяет использовать привычную для зоотехников и предусмотренную федеральной государственной информационно-аналитической системой по племенным ресурсам (ФГИАС ПР) бонитировочную систему баллов, сохранив учет возрастных различий и обеспечив постепенный переход на новую систему оценки племенной ценности.

Таким образом, проведенное исследование позволило дать некоторые методические рекомендации. В частности, для целей спортивного ранжирования, где важна минимизация совпадающих позиций и простота интерпретации, пригоден показатель суммы пунктов КТР за сезон, который является традиционным для международных организаций. Однако для оценки ценности лошади для разведения или производителей по качеству потомства, при недоступности метода BLUP Animal Model следует использовать более надежные способы: в условиях доступности информации о точном количестве стартов за сезон применять сглаженный показатель R, при отсутствии этих сведений обращаться к стандартизированной оценке фенотипа СОФ. Параметры для расчета (средние значения КТР и R, их стандартные отклонения) фиксируются на основе многолетних данных (5 лет) и могут пересматриваться селекционным центром по мере необходимости. Для бонитировки по работоспособности предложена калиброванная шкала баллов, позволяющая унифицировать оценку лошадей разных возрастов в привычных баллах.

Сопоставление показателей внутри возрастных групп в рамках данного исследования производилось для корректной оценки их согласованности и с учетом практической пользы. Для селекционных целей на уровне популяции рекомендуемым подходом является объединенная BLUP-модель, в которой возрастная группа включается как самостоятельный фиксированный эффект. Это позволяет оценивать племенную ценность не только выступавших лошадей и их отцов, но и производить оценку животных без выступлений, кобыл, а также использовать ее при составлении подборов. Кроме того, объединенная модель обеспечивает увеличение числа потомков на одного отца. В рамках REML-анализа на расширенной выборке (2010–2025 гг.) $h^2 = 0,24 \pm 0,11$ ($p = 0,022$), повторяемость составила 0,51. Практически идентичную силу влияния отца ($\eta^2 = 0,251$, $p < 0,001$) авторы установили с помощью многофакторного дисперсионного анализа с учетом фиксированных эффектов возрастной группы, пола, сезона, отца. Таким образом, для расчета EBV в объединенной модели следует использовать показатель $h^2 = 0,24$.

В то же время следует подчеркнуть, что наиболее перспективным направлением в племенной работе является геномная селекция, позволяющая прогнозировать племенную ценность на основании результатов генотипирования [21]. В ее основе лежит метод BLUP, а достоверность оценок напрямую зависит от качества и объема фенотипических записей. Именно накопление сведений о фенотипах в недискретной (непрерывной) форме рассматривается как основа для последующего перехода к геномным оценкам. Предлагаемые в настоящей работе сглаженный показатель R и стандартизированная оценка фенотипа (СОФ) представляют собой непрерывные, статистически обоснованные фенотипические оценки, пригодные в перспективе для использования в качестве зависимой переменной в геномных моделях.

Выводы/Conclusion

В ходе исследования были сопоставлены методы оценки фенотипа (сглаживание среднего показателя корректированного трансформированного ранга (КТР) за сезон — параметр R,

стандартизированная оценка фенотипа (СОФ) и оценка племенной ценности EBV) лошадей верховых пород спортивного направления по собственной работоспособности на примере русской верховой породы в выездке. Установлено, что изменение способа определения параметра *k* (среднее, средневзвешенное, медиана) не приводит к перестановкам в ранжировании по показателю R. На основании средних данных за пять лет установлены значения коэффициентов *k* для расчета сглаженного показателя R в выездке: *k* = 3 (для молодых, 3-5 лет), *k* = 5 (для средних, 6–8 лет) и k = 6 (для старших, ≥ 9 лет), которые рекомендуется пересматривать не реже одного раза в 5 лет по мере накопления новых данных или существенном изменении типичной стартовой активности лошадей русской верховой породы в разных возрастных группах.

Сглаженный показатель R является надежным методом оценки работоспособности и может служить фенотипической альтернативой BLUP для ранжирования животных по собственной работоспособности при ограниченных данных, обеспечивая ранговую корреляцию с EBV на уровне 0,80–0,91 ($p < 0,001$).

Высокая согласованность СОФ и показателя R подтверждает возможность использования обоих методов для ранжирования лошадей с точки зрения перспектив для использования в племенной работе. Для селекционных целей в условиях недоступности расчетов методом BLUP зоотехникам племенных предприятий рекомендовано использование R с предоставляемыми селекционным центром константами как более надежного показателя, в то время как СОФ применим в случае отсутствия данных о числе стартов и должен интерпретироваться с осторожностью.

Предложенные упрощенные формулы СОФупр (для трех возрастных групп) позволяют проводить оценку в хозяйствах без доступа к селекционному центру с сохранением высокой точности (коэффициент корреляции с результатами расчета по полной формуле составил > 0,99).

Разработанная шкала конвертации сглаженного показателя R в бонитировочные баллы (от 4 до 10) обеспечивает преемственность с существующей системой племенного учета и может быть рекомендована для внедрения в ФГИАС ПР.

Для целей спортивного ранжирования допустимым остается показатель суммы КТР, однако для селекционных целей его использование не рекомендуется из-за систематического завышения оценок активных лошадей (зафиксированное смещение рангов до 30%).

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарасова Н.В., Николаева А.А., Киборт М.И. Оценка жеребцов-производителей буденновской и донской породы по спортивной работоспособности потомства. *Коневодство и конный спорт.* 2025; (2): 24–27. https://doi.org/10.25727/HS.2025.2.60102
2. Тарасова Н.В., Николаева А.А., Киборт М.И. Оценка результатов выступлений в соревнованиях по конному спорту лошадей буденновской и донской пород за 2023 год. *Коневодство и конный спорт.* 2024; (5): 25–28. https://doi.org/10.25727/HS.2024.5.60252
3. Doyle J.L., Carroll C.J., Corbally A.F., Fahey A.G. An overview of international genetic evaluations of show jumping in sport horses. *Translational Animal Science*. 2022; 6(2): txac038. https://doi.org/10.1093/tas/txac038
4. Doyle J.L., Fahey A.G. Genetic Evaluation of Show Jumping Performance in the Irish Sport Horse. *Journal of Animal Science*. 2022; 100(S3): 7. https://doi.org/10.1093/jas/skac247.011
5. Dubois C., Manfredi E., Ricard A. Optimization of breeding schemes for sport horses. *Livestock Science*. 2008; 118(1–2): 99–112. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.01.005
6. Rovere G., Madsen P., Norberg E., van Arendonk J.A.M., Ducro B.J. Genetic connections between dressage and show-jumping horses in Dutch Warmblood horses. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*. 2014; 64(1): 57–66. https://doi.org/10.1080/09064702.2014.975738
7. Hassenstein, C., Röhe, R., Kalm, E. Genetisch statistische Analyse von neuentwickelten Merkmalen aus Turniersportprüfungen für Reitpferde. 1. Mitteilung: Merkmalsentwicklung und Heritabilitätsschätzung. *Züchtungskunde*. 1999; 71: 106–117.
8. Reilly M., Foran M.K., Kelleher D.L., Flanagan M.J., Brophy P.O. Estimation of genetic value of showjumping horses from the ranking of all performances in all competitions. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 1998; 115(1–6): 17–25. https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1998.tb00324.x
9. Tavernier A. Genetic evaluation of horses based on ranks in competitions. *Genetics Selection Evolution*. 1991; 23(2): 159–173. https://doi.org/10.1186/1297-9686-23-2-159
10. Ricard A., Legarra A. Validation of models for analysis of ranks in horse breeding evaluation. *Genetics Selection Evolution*. 2010; 42: 3. https://doi.org/10.1186/1297-9686-42-3
11. Efron B. Large-Scale Inference: Empirical Bayes Methods for Estimation, Testing, and Prediction. Cambridge; New York: *Cambridge University Press*. 2010. xii, 263. ISBN 978-0-521-19249-1
12. 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
13. Калашников В.В., Зайцев А.М., Калинкина Г.В., Дубровин А.В., Калашников Р.В. Племенное коневодство в России — образ и реалии. *Коневодство и конный спорт*. 2022; (1): 4–8. https://doi.org/10.25727/HS.2022.1.60287
14. Улыбина Л.В. Тенденции развития животноводческого комплекса России в контексте обеспечения продовольственной безопасности. *Аграрная наука*. 2025; (3): 144–149. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-144-149

REFERENCES

1. Tarasova N.V., Nikolaeva A.A., Kibort M.I. Evaluation activities of stallions of Budenny and Don breeds in terms of athletic performance of offspring. *Konevodstvo i konny sport*. 2025; (2): 24–27 (in Russian). https://doi.org/10.25727/HS.2025.2.60102
2. Tarasova N.V., Nikolaeva A.A., Kibort M.I. Evaluation of the results of performances in equestrian competitions of horses of Budenny and Don breeds in 2023. *Konevodstvo i konny sport*. 2024; (5): 25–28 (in Russian.). https://doi.org/10.25727/HS.2024.5.60252
3. Doyle J.L., Carroll C.J., Corbally A.F., Fahey A.G. An overview of international genetic evaluations of show jumping in sport horses. *Translational Animal Science*. 2022; 6(2): txac038. https://doi.org/10.1093/tas/txac038
4. Doyle J.L., Fahey A.G. Genetic Evaluation of Show Jumping Performance in the Irish Sport Horse. *Journal of Animal Science*. 2022; 100(S3): 7. https://doi.org/10.1093/jas/skac247.011
5. Dubois C., Manfredi E., Ricard A. Optimization of breeding schemes for sport horses. *Livestock Science*. 2008; 118(1–2): 99–112. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.01.005
6. Rovere G., Madsen P., Norberg E., van Arendonk J.A.M., Ducro B.J. Genetic connections between dressage and show-jumping horses in Dutch Warmblood horses. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*. 2014; 64(1): 57–66. https://doi.org/10.1080/09064702.2014.975738
7. Hassenstein, C., Röhe, R., Kalm, E. Genetisch statistische Analyse von neuentwickelten Merkmalen aus Turniersportprüfungen für Reitpferde. 1. Mitteilung: Merkmalsentwicklung und Heritabilitätsschätzung. *Züchtungskunde*. 1999; 71: 106–117.
8. Reilly M., Foran M.K., Kelleher D.L., Flanagan M.J., Brophy P.O. Estimation of genetic value of showjumping horses from the ranking of all performances in all competitions. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 1998; 115(1–6): 17–25. https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1998.tb00324.x
9. Tavernier A. Genetic evaluation of horses based on ranks in competitions. *Genetics Selection Evolution*. 1991; 23(2): 159–173. https://doi.org/10.1186/1297-9686-23-2-159
10. Ricard A., Legarra A. Validation of models for analysis of ranks in horse breeding evaluation. *Genetics Selection Evolution*. 2010; 42: 3. https://doi.org/10.1186/1297-9686-42-3
11. Efron B. Large-Scale Inference: Empirical Bayes Methods for Estimation, Testing, and Prediction. Cambridge; New York: *Cambridge University Press*. 2010. xii, 263. ISBN 978-0-521-19249-1
12. 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
13. Kalashnikov V.V., Zaitsev A.M., Kalinkina G.V., Dubrovin A.V., Kalashnikov R.V. Breeding horse breeding in Russia - image and realities. *Konevodstvo i konny sport*. 2022; (1): 4–8 (in Russian). https://doi.org/10.25727/HS.2022.1.60287
14. Ulybina L.V. Trends in the development of the Russian livestock sector in the context of food security. *Agrarian science*. 2025; (3): 144–149 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-144-149

15. Roman-Popovici A., Sumovschi D., Gîlcă I. Competition Jumping Horses: Effects of Age, Sex and Breed on the Fei/Wbfsh World Ranking. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*. 2015; 72(1): 59–65. https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:10500

16. Политова М.А. Характеристика работоспособности лошадей орловской рысистой породы в выездке и конкуре за период 2017–2023 год в рамках проекта ассоциации «Росплемконзавод». *Коневодство и конный спорт.* 2024; (2): 17–21. https://doi.org/10.25727/HS.2024.2.60837

17. Hobbs S.J. *et al.* A scoping review of determinants of performance in dressage. *PeerJ*. 2020; 8: e9022. https://doi.org/10.7717/peerj.9022

18. Doyle J.L., Carroll C., Corbally A., Fahey A.G. A Comparison of International Genetic Evaluations of Show Jumping in Sport Horses. *Journal of Animal Science*. 2022; 100(S3): 6–7. https://doi.org/10.1093/jas/skac247.010

19. Герман Ю.И., Горбуков М.А., Чавлытко В.И., Рудак А.Н., Герман А.И. Система оценки племенной (генетической) ценности овец разводимых в республике пород. Жодино: *Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству*. 2019; 16. EDN VUKAWG

20. Политова МА. Методы оценки племенной ценности жеребцов в спортивном коневодстве: от оценки фенотипа к BLUP Animal model. *Коневодство и конный спорт.* 2026;(3):36-40. https://doi.org/10.25727/HS.2026.4.60406

21. Калашников А.Е. *и др.* Составление линейных моделей для прогноза племенной ценности животных в геномной оценке. *Молочное и мясное скотоводство.* 2020; (5): 28–32. https://doi.org/10.33943/MMS.2020.31.63.005

15. Roman-Popovici A., Sumovschi D., Gîlcă I. Competition Jumping Horses: Effects of Age, Sex and Breed on the Fei/Wbfsh World Ranking. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*. 2015; 72(1): 59–65. https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:10500

16. Politova M.A. Characteristics of the performance of horses of the Orlov trotter breed in dressage and show jumping for the period 2017-2023 within the framework of the project of the association “Rosplemconzavod”. *Konevodstvo i konny sport*. 2024; (2): 17–21 (in Russian). https://doi.org/10.25727/HS.2024.2.60837

17. Hobbs S.J. *et al.* A scoping review of determinants of performance in dressage. *PeerJ*. 2020; 8: e9022. https://doi.org/10.7717/peerj.9022

18. Doyle J.L., Carroll C., Corbally A., Fahey A.G. A Comparison of International Genetic Evaluations of Show Jumping in Sport Horses. *Journal of Animal Science*. 2022; 100(S3): 6–7. https://doi.org/10.1093/jas/skac247.010

19. German Yu.I., Gorbukov M.A., Chavlytko V.I., Rudak A.N., German A.I. System for assessing the breeding (genetic) value of sheep breeds bred in the Republic of Belarus. Zhodino: *Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry*. 2019; 16 (in Russian). EDN VUKAWG

20. Politova MA. Methods for breeding value estimation of sires in sport horses: from phenotype to BLUP Animal Model. *Konevodstvo i konny sport*. 2026;(3):36-40. https://doi.org/10.25727/HS.2026.4.60406

21. Kalashnikov A.E. *et al.* Models for predicting the breeding value of animals in genomic evaluation. *Dairy and beef cattle farming*. 2020; (5): 28–32 (in Russian). https://doi.org/10.33943/MMS.2020.31.63.005

ОБ АВТОРАХ

Марина Александровна Политова
кандидат сельскохозяйственных наук
Politova-marina@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-1753-1716

ООО «Экспертный центр мониторинга эпизоотий и генетики»,
Варшавское шоссе, д. 125Ж, к. 5 Москва,117587, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Marina Aleksandrovna Politova
candidate of Agricultural Sciences
Politova-marina@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-1753-1716

LLC “Expert center for epizootic monitoring and genetics”,
125zh/5 Varshavskoe Highway, Moscow, 117587, Russia

УДК 636.034

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-125-131

С.В. Путинцева[1]

С.Л. Сафронов[2] ✉

Н.Д. Виноградова[2]

И.В. Кныш[2]

[1] *ООО «Альта Дженетикс Раша», Воронеж, Россия*

[2] *Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия*

✉ *safronovsl@list.ru*

Поступила в редакцию: 10.04.2026

Одобрена после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 21.08.2026

© Путинцева С.В., Сафронов С.Л., Виноградова Н.Д., Кныш И.В.

Молочная продуктивность коров-первотелок разного происхождения в условиях промышленного производства молока

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Молочная продуктивность коров-первотелок зависит от многих факторов, в том числе от их происхождения. Цель исследований — оценка молочной продуктивности коров голштинской породы разного происхождения по их первой лактации.

Методы. Объектом исследования служили коровы голштинской породы (915 гол.) линий Вис Бэк Айдиала 1013415 (339 гол.) и Рефлекшн Соверинга 198998 (576 гол.) с законченной первой лактацией. Материалы исследований — данные зоотехнического и племенного учета за период научно-хозяйственного опыта. По данным ежемесячных контрольных доений проведен сравнительный анализ молочной продуктивности коров по удою за 100, 200 и 305 дней лактации, массовой доли жира и белка в молоке. По общепринятой методике рассчитано количество молочного жира и белка.

Результаты. Установлено, что в течение лактации особи разных линий продуцировали молоко с разной интенсивностью. Так, в период раздоя коровы линии Рефлекшн Соверинга 198998 превосходили сверстниц по удою на 3,6%, 200 дней лактации — 3,5%, 305 дней — 5,2%, за всю лактацию различия составили 5,5%. Различия между группами исследуемых животных по качественному составу молока были незначительными, а имеющиеся колебания по содержанию жира и белка в молоке в течение лактации обусловлены закономерностями лактационной деятельности коров. Происхождение коров от выдающихся быков-производителей оказывает значительное влияние на молочную продуктивность коров-первотелок, что учитывают в селекционной работе со стадом. Наибольший удой за лактацию был получен от дочерей быков линии Вис Бэк Айдиала 1013415 Салюта 1250 и Сильвера 1214 (10 352–10 372 кг), а также линии Рефлекшн Соверинга 198998 — Альта Экземпляра 11747 и Наполеона 9840 (10 256–10 274 кг). Это позволяет рекомендовать перечисленных быков в селекционно-племенной работе с голштинской породой в стаде племенного предприятия в направлении увеличения молочной продуктивности скота и повышении качества молока.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, голштинская порода, молочная продуктивность, лактация, линия, бык-производитель

Для цитирования: Путинцева С.В., Сафронов С.Л., Виноградова Н.Д., Кныш И.В. Молочная продуктивность коров-первотелок разного происхождения в условиях промышленного производства молока. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 125–131. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-125-131

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-125-131

Svetlana V. Putinceva[1]

Sergei L. Safronov[2] ✉

Natalia D. Vinogradova[2]

Irina V. Knysh[2]

[1] *Alta Genetics Russia, Voronezh, Russia*

[2] *Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russia*

✉ *safronovsl@list.ru*

Received by the editorial office: 10.04.2026

Accepted in revised: 07.08.2026

Accepted for publication: 21.08.2026

© Putinceva S.V., Safronov S.L., Vinogradova N.D., Knysh I.V.

Dairy productivity of cows of the first lactation of different breeding under conditions of industrial milk production

ABSTRACT

Relevance. The dairy productivity of first-calf cows depends on many factors, including their origin. In breeding cattle, it is necessary to take into account the linear affiliation of the daughters of bulls of different origins. Breeding enterprises of the Leningrad region specialize in the cultivation of Holstein cattle, characterized by high dairy productivity. The purpose of the research is to evaluate the milk productivity of Holstein cows of different origins after their first lactation.

Methods. The object of the study was cows of the Holstein breed (915 heads) of the lines Vis Back Ideal 1013415 (339 heads) and Reflection Sowering 198998 (576 heads) with completed first lactation. Research materials are data from zootechnical and breeding records for the period of scientific and economic experience. According to the data of monthly control milking, a comparative analysis of dairy productivity of cows by milk yield for 100, 200 and 305 days of lactation, the mass fraction of fat and protein in milk was carried out. According to the generally accepted method, the amount of milk fat and protein is calculated.

Results. It was found that during lactation, individuals of different lines produced milk with different intensities. Thus, during the breeding period, cows of the Reflection Sowering 198998 line surpassed their peers in milk yield by 3.6%, 200 days of lactation — 3.5%, 305 days — 5.2%, for the whole lactation the difference was 5.5%. Differences between the groups of the studied animals on the qualitative composition of milk were insignificant, and the existing fluctuations in the content of fat and protein in milk during lactation were caused by the regularities of lactation activity of cows. The origin of cows from outstanding breeding bulls has a significant impact on the dairy productivity of first-calf cows, which is taken into account in breeding work with the herd. The highest milk yield for lactation was obtained from the daughters of the bulls of the Vis Back Ideal 1013415 Salute 1250 and Silver 1214 (10352-10372 kg) line, as well as the Reflection Sowering 198998 — Alta Instance 11747 and Napoleon 9840 (10256-10274 kg) line. This allows us to recommend the listed bulls in breeding and breeding work with the Holstein breed in the herd of a breeding enterprise in the direction of increasing the dairy productivity of livestock and improving the quality of milk.

Key words: cattle, Holstein breed, dairy productivity, lactation, lineage, breeding bull

For citation: Putinceva S.V., Safronov S.L., Vinogradova N.D., Knysh I.V. Dairy productivity of cows of the first lactation of different breeding under conditions of industrial milk production. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 125–131 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-125-131

Введение/Introduction

В соответствии с тенденциями развития современного общества и ростом населения страны увеличивается спрос на продукты питания животного происхождения [1–4], что обуславливает разработку технологий производства и переработки сырья животного происхождения [5–13].

Обеспеченность населения страны молоком и молочными продуктами, согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, должна составлять не менее 90%, поэтому уделяется значительное внимание развитию молочного скотоводства и переработки молочного сырья [14–19].

Молочное скотоводство поставляет молоко для перерабатывающей промышленности для производства молочных продуктов, тем самым увеличивает возможности расширения ассортимента разрабатываемой молочной продукции [20–28].

По мнению многих ученых, в настоящее время основными факторами, которые сдерживают увеличение молочной продуктивности коров во многих регионах нашей страны, являются нарушения в технологии промышленного производства молока и нерациональное использование продуктивного потенциала молочного скота отечественных и зарубежных пород [25, 26, 29, 30].

В последние десятилетия в практике животноводства используются современные достижения зоотехнической науки [31–33], внедряются новейшие разработки в сфере кормления и содержания скота, что является предпосылкой к совершенствованию существующих технологий, которые применяют в промышленном скотоводстве [27, 34–36].

В Российской Федерации на протяжении нескольких лет по молочной продуктивности коров среди регионов страны лидирующее положение занимает Ленинградская область. Это обусловлено концентрацией высокопродуктивного скота в племенных животноводческих предприятиях Ленинградской области [24, 26, 28, 37].

Один из селекционных признаков, устойчиво наследуемых потомками от предков в молочном скотоводстве, является молочная продуктивность коров [38–40].

В связи с этим, в племенном животноводстве молочную продуктивность коров оценивают в зависимости от происхождения от быков и принадлежности к линиям [41–44].

В животноводческих предприятиях Ленинградской области на протяжении длительного периода времени успешно используются быки-производители голштинской породы разных линий. Благодаря проводимой селекционной работе уровень молочной продуктивности претерпел значительные изменения, созданы стада племенных животных с уровнем продуктивности, не уступающим зарубежным странам с развитым молочным скотоводством [24, 26, 27].

В племенной работе важное значение имеет оценка хозяйственно-полезных признаков коров по первой лактации [13, 28, 37, 45].

О продуктивном потенциале коров за весь период продуктивного использования можно судить по первой лактации [16, 27, 46].

Цель исследований — оценка молочной продуктивности коров голштинской породы разного происхождения по их первой лактации в условиях промышленного производства молока.

Материал и методы исследования / Material and methods

Научно-хозяйственный опыт был проведен на производственной базе одного из племенных заводов Ленинградской области России, специализирующегося на разведении крупного рогатого скота голштинской породы в период 2022–2024 гг.

Объектом исследований являлись коровы с законченной первой лактацией, полученные от быков-производителей линий Вис Бэк Айдиала 1013415 (339 гол.) и Рефлекшн Соверинга 198998 (576 гол.).

Во время исследования условия кормления и содержания (круглогодовое стойловое, беспривязное) коров-первотелок были одинаковые. Рационы подопытных животных состояли из кормов, производимых в хозяйстве. В их состав входили: сено луговое разнотравное и силос разнотравный. Рационы кормления составляли на основе фактического химического состава кормов в соответствии с детализированными нормами РАСХН (Нормы и рационы, 1993, 2003).

Материалом и данными для сравнительного анализа служила база данных хозяйства ИАС «СЕЛЭКС. Молочный скот» («РЦ «ПЛИНОР», Санкт-Петербург, Россия), программа управления стадом Afifarm (Afimilk, Израиль)), результаты собственных исследований.

По результатам ежемесячного контрольного доения был проведен сравнительный анализ молочной продуктивности коров по удою за 100, 200, 305 дней первой лактации.

Массовая доля жира и белка определена в средней пробе молока от каждой коровы один раз в месяц в лаборатории АО «Агроплем» (Москва, Россия). По ежемесячному удою, массовой доли жира и белка в молоке определяли количество молочного жира и белка.

Полученные в результате исследований материалы обработаны биометрически с помощью офисного программного комплекса «Statistica 10.0» и программного обеспечения Microsoft Excel с вычислением следующих величин: среднеарифметическая (M), ошибка средней арифметической ($\pm m$) и уровень значимости (P). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по *t*-критерию Стьюдента. Уровень значимых различий был установлен при $P < 0,05$.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии

с положениями европейских конвенций о защите животных, содержащихся на фермах (1976 г.), о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей (1986 г.), приказом Министерства здравоохранения СССР №755 от 12.08.1977 г. и Федеральным законом №498-ФЗ от 27.12.2018 г. При выполнении исследований были приняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных.

Результаты и обсуждение /
Results and discussion

Молочная продуктивность коров-первотелок разных линий голштинской породы в исследуемом стаде имела значительные различия на протяжении всего периода исследований.

Так, сравнительный анализ удоя по периодам лактации (рисунок 1) позволил установить превосходство особей линии Рефлекшн Соверинга 198998 над сверстницами линии Вис Бэк Айдиала 1013415.

Из представленных данных на рисунке 1 видно, что период в раздоя (100 дней) коровы-первотелки линии Рефлекшн Соверинга 198998 имели удой больше на 3,6%, 200 дней — 3,5%, за 305 дней — 5,2% и максимальное — 5,5% за всю лактацию. Следует отметить, что от удоя за 305 дней и всей лактации по группе коров линии Рефлекшн Соверинга 198998 в период раздоя было получено 35,5% и 34,4%, а по группе сверстниц линии Вис Бэк Айдиала 1013415 — 36,4% и 35,0% соответственно.

В последующие 200 дней удой коров линии Рефлекшн Соверинга 198998 составил 69,8 и 67,7% от продуктивности за 305 дней и всю лактацию, при этом у сверстниц линии Вис Бэк Айдиала 1 013 415 величина исследуемого показателя была 71,7 и 68,9% соответственно. Установленная положительная тенденция изменения продуктивности коров-первотелок, а также имеющиеся различия между группами по количеству молока за 305 дней и всю лактацию (6,5 и 5,5%) позволяют сделать предположение о возможном увеличении удоя у коров-первотелок линии Вис Бэк Айдиала 1 013 415 в благоприятных условиях кормления и содержания.

Качественный состав молока, оказывающий влияние на его питательные и технологические свойства, имеет наибольшее значение в оценке молочной продуктивности коров.

В целом по стаду содержание в молоке жира и белка имеет высокую степень наследуемости. Следует отметить, что для увеличения этих показателей по стаду необходимо проведение длительной целенаправленной селекции скота на жирно- и белковомолочность. В то же время в стаде наблюдаются значительные колебания содержания жира и белка в молоке, обусловленные влиянием генотипа животных.

В связи с этим, в сравнительном аспекте был проведен анализ содержания жира и белка в

Рис. 1. Динамика удоя у коров разных линий по периодам первой лактации, кг

Fig. 1. Milk yield dynamics in cows of different lines by periods of first lactation, kg

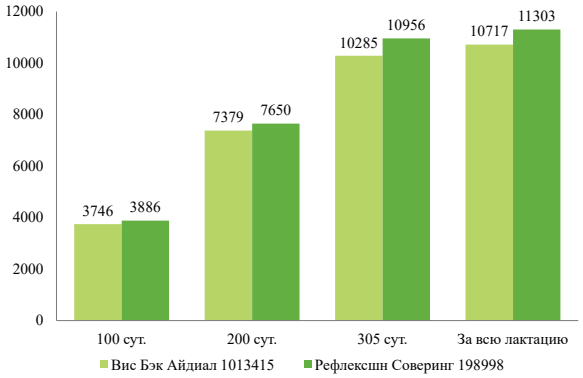


Рис. 2. Массовая доля жира в молоке у коров-первотелок исследуемых линий по периодам лактации, %

Fig. 2. The mass fraction of fat in the milk of the first-calf cows of the studied lines by lactation periods, %

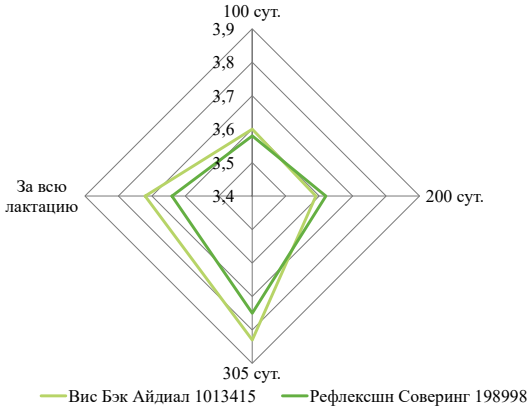
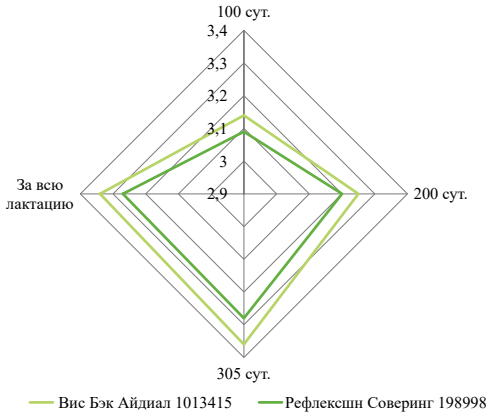


Рис. 3. Массовая доля белка в молоке у коров-первотелок исследуемых линий по периодам лактации, %

Fig. 3. The mass fraction of protein in the milk of the first-calf cows of the studied lines by lactation periods, %



молоке у подопытных животных по периодам первой лактации, который представлен на рисунках 2 и 3.

Данные рисунка 2 свидетельствуют о том, что жирномолочность у подопытных животные обеих групп колеблется на протяжении лактации в интервалах 3,58–3,75% и 3,59–3,82%.

Разность между группами в исследуемые периоды лактации была незначительной — 0,02–0,05%. Установлено, что в период раздоя первотелки

линии Вис Бэк Айдиала 1013415 за 305 дней и всю лактацию имели преимущество, а за 200 дней лактации уступали сверстницам.

По результатам проведенных исследований было установлено, что разность между группами по содержанию белка в молоке наблюдалась во все исследуемые периоды и составила 0,05% с преимуществом дойных коров линии Вис Бэк Айдиала 1013415. Различия между группами незначительные и недостоверные (при P≤0,05).

В селекционной работе с крупным рогатым скотом специализированных молочных пород используют сравнительный анализ изучаемых показателей продуктивности коров за 305 дней лактации между сверстницами разных групп (таблица 1).

Из данных таблицы 1 следует, что коровы линии Вис Бэк Айдиала 1013415 незначительно превосходят сверстниц линии Рефлекшн Соверинга 198998 по удою (на 2,0%) и содержанию жира в молоке (на 0,1%). Различий между группами по содержанию белка в молоке не установлено. Количество полученного молока за лактацию и его состав повлияли на выход молочного жира и белка при незначительном преимуществе первотелок линии Вис Бэк Айдиала 1013415 — 5,1 и 3,0% соответственно.

Установлены незначительные различия продуктивности подопытных животных в сравнении со средними значениями исследуемых показателей по стаду, которые по удою составили 1,0%, содержанию жира -0,1%, количеству молочного жира и белка от -2,8 до 2,2% и от -1,8 до 1,2% соответственно.

По результатам проведенного анализа качественного состава молока у коров разных линий различий по содержанию белка в молоке не выявлено.

В условиях промышленного производства молока наибольшую ценность в племенной работе представляют быки-производители, потомки которых отличаются широкой изменчивостью показателей молочной продуктивности внутри родственной группы [10, 13, 24, 25, 28].

В связи с этим был проведен сравнительный анализ основных показателей молочной продуктивности дочерей быков-производителей исследуемых линий, результаты которого представлены в таблицах 2 и 3.

По данным таблицы 2 видно, что лучшей молочной продуктивностью отличаются дочери быков-производителей Салюта 1250 и Сильвера 1214, принадлежащих к линии Вис Бэк Айдиала 1013415. Их преимущество по удою в сравнении со сверстницами и средним значением по линии составило 0,2–8,0% и 1,0–7,8% соответственно. По содержанию жира и белка в молоке значительных различий между потомками быков не выявлено, однако имеются различия по количеству молочного жира и белка, обусловленные различия по удою, которые колеблются в интервалах 1,4–16,1% и 1,0–11,2%. Дочери быка-производителя Сильвера 1214 незначительно уступают сверстницам по содержанию жира в молоке в сравнении со средним значением показателя по линии, в связи с этим разность по группе в количестве молочного жира составила -3,1%. При этом дочери быка Салюта 1250 сочетают хорошую жирно- и белковомолочность, имеющих важное значение при переработке молока-сырья в молочные продукты, это необходимо учитывать в селекционной работе.

Сравнительный анализ молочной продуктивности дочерей быков-производителей линии Рефлекшн Соверинга 198998 позволил выявить

Таблица 1. **Сравнительный анализ молочной продуктивности коров за 305 дней лактации**
Table 1. **Comparative analysis of dairy productivity of cows for 305 days of lactation**

Линия	Молочная продуктивность				
	удой, кг	Массовая доля, %		Количество молочного, кг	
		жира	белка	жира	белка
Вис Бэк Айдиала 1013415	10252,9 ± 129,8	3,6 ± 0,02	3,4 ± 0,02	373,1 ± 13,0	348,2 ± 14,7
Рефлекшн Соверинга 198998	10045,8 ± 98,0	3,5 ± 0,02	3,4 ± 0,02	354,9 ± 13,0	337,9 ± 11,6
В среднем по стаду	10146,0 ± 113,1	3,6 ± 0,02	3,4 ± 0,02	365,0 ± 9,0	344,2 ± 14,1

Таблица 2. **Сравнительный анализ молочной продуктивности дочерей быков-производителей линии Вис Бэк Айдиала 1013415 за 305 дней первой лактации**
Table 2. **Comparative analysis of milk productivity of daughters of bulls-breeders of the Vis Back Ideal 1013415 line for 305 days of the first lactation**

Показатель	Кличка и инд. номер быка-производителя				В среднем по линии
	Салют 1250	Сильвер 1214	Альта Готем 11766	Альта Цар 11435	
Поголовье дочерей, гол.	18	15	14	30	102
Удой, кг	10372,1 ± 90,8	10352,7 ± 98,2	9886,5 ± 128,1	9605,3 ± 101,9	10253,0 ± 130,5
Массовая доля, %					
жира	3,7 ± 0,01	3,5 ± 0,02	3,6 ± 0,02	3,5 ± 0,01	3,6 ± 0,02
белка	3,4 ± 0,01	3,4 ± 0,01	3,4 ± 0,02	3,3 ± 0,02	3,4 ± 0,02
Количество молочного, кг					
жира	385,1 ± 14,6	361,7 ± 12,3	356,7 ± 12,4	331,6 ± 17,8	373,2 ± 12,9
белка	355,8 ± 14,7	352,0 ± 17,9	340,1 ± 12,4	319,9 ± 8,6	348,6 ± 15,1

Таблица 3. **Сравнительный анализ молочной продуктивности дочерей быков-производителей линии Рефлекшн Соверинга 198998 за 305 дней первой лактации**

Table 3. **Comparative analysis of milk productivity of daughters of bulls-producers of the Reflection Sowering 198998 line for 305 days of the first lactation**

Показатель	Кличка и инд. номер быка-производителя				В среднем по линии
	Альта Экземпляр 11747	Наполеон 9840	Альта Харриер 11575	Альта Хотшот 11253	
Поголовье дочерей, гол.	15	18	18	55	263
Удой, кг	10 274,7 ± 147,8	10 256,5 ± 76,3	10 030,3 ± 115,7	9968,4 ± 50,3	10 046,4 ± 98,1
Массовая доля, %					
жира	3,7 ± 0,01	3,60 ± 0,02	3,5 ± 0,02	3,6 ± 0,02	3,5 ± 0,02
белка	3,5 ± 0,01	3,4 ± 0,02	3,3 ± 0,02	3,4 ± 0,02	3,4 ± 0,02
Количество молочного, кг					
жира	377,5 ± 15,2	369,0 ± 13,1	352,6 ± 11,5	357,8 ± 9,0	355,6 ± 12,7
белка	354,5 ± 6,2	349,7 ± 9,0	335,0 ± 17,0	336,9 ± 10,4	338,6 ± 11,8

преимущество потомков быков Альта Экземпляра 11747 и Наполеона 9840. Они отличаются хорошим сочетанием высокого удоя с жирно- и блековомолочностью. Так, преимущество по удою в среднем составило 0,2–3,1%, а по выходу молочного жира и белка — 2,3–7,1% и 1,4–5,8% соответственно.

Выводы/Conclusion

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о положительном влиянии быков-производителей разных линий голштинской породы на молочную продуктивность их дочерей по первой лактации. В сложившихся хозяйственных условиях продуктивный потенциал коров-первотелок линии Вис Бэк Айдиала 1 013 415 наиболее выражен.

В племенной работе со стадом рекомендуется шире использовать быков-производителей Салюта 1250 и Сильвера 1214 линии Вис Бэк Айдиала 1013415, Альта Экземпляра 11747 и Наполеона 9840 линии Рефлекшн Соверинга 198998, так как их дочери отличаются лучшей молочной продуктивностью.

Отмеченные тенденции и закономерности необходимо учитывать в планировании селекционной работы при совершенствовании продуктивных качеств коров в стаде племенного завода, специализирующегося на использовании скота голштинской породы.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Авторский вклад: Путинцевой С.В. составляет 60%; Сафронов С.Л. — 20%, Виноградова Н.Д. — 10%, Кныш И.В. — 10%. 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. The author's contribution of S.V. Putintseva is 60%, Safronov S.L. — 20%, Vinogradova N.D. —10, Knysh I.V. — 10% 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. Третьяк Л.Н., Ребезов М.Б., Мордвинова А.О., Кравченко В.Н. Анализ востребованности обогащенных кисломолочных продуктов на примере йогурта. *Международный студенческий научный вестник*. 2015; (6): 54. EDN VHEUYN
2. Smolnikova F. *et al.* Developing milk-fruit drinks for school nutrition. *Journal of Natural Remedies*. 2021; 21(9-1): 72–77. EDN FWCSHS
3. Ребезов М.Б., Наумова Н.Л., Альхамова Г.К., Кожевникова Е.Ю., Сорокин А.В. Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска. *Молочная промышленность*. 2011; (8): 38–39. EDN NYGQSR
4. Попова М.А., Ребезов М.Б., Несмеянова О.В. Кисломолочные продукты функционального назначения (патентный поиск). *Экономика и бизнес. Взгляд молодых. Сборник материалов Международной заочной научно-практической конференции молодых ученых.* Челябинск: ЮУрГУ. 2013; 491–493. EDN STGVTV
5. Горелик А.С., Ребезов М.Б., Горелик О.В. Особенности изготовления мягких сыров из молока коров-дочерей разных быков-производителей. *Аграрная наука*. 2023; (1): 90–94. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-90-94
6. Костенко К.В. *и др.* Оптимизация процесса восстановления вторичных молочных продуктов с применением ультразвуковой обработки и исследование их стабильности. *Аграрный вестник Урала*. 2026; 26(1): 140–151. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-01-140-151
7. Горелик А.С., Ребезов М.Б., Горелик О.В. Изучение влияния молочного сырья по сезонам года на технологические параметры при производстве мягкого сыра. *Аграрная наука.* 2023; (9): 59–63. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-59-63
8. Горелик О.В., Федосеева Н.А., Кныш И.В. Технология производства и качество сычужных сыров из молока коров разных пород. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019; 57: 86–92. EDN KTKHZJ
9. Gorelik O.V., Galushina P.S., Knysh I.V., Bobkova E.Yu., Grigoryants I.A. Relationship between cow milk yield and milk quality indicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 677: 032013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032013
10. Горелик О.В., Федосеева Н.А., Кныш И.В. Молочная продуктивность коров голштинских линий черно-пестрого скота. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019; 56: 99–105. EDN AEPFHW
11. Pozovnikova M.V., Vasileva O.K., Mitrofanova O.V. Association between Fertility HCD Haplotype, Milk Production, and Reproductive Performance in Holstein Cows. *Russian Agricultural Sciences*. 2021; 47(1): 68–71. https://doi.org/10.3103/s1068367421010146.
12. Rebezov M.B., Gorelik O.V., Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Nusupov A.M. Productive qualities and their interrelation in Holstein cows of Black-and-White breed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; (6): 60–67. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-221-06-60-67

REFERENCES

1. Tretyak L.N., Rebezov M.B., Mordvinova A.O., Kravchenko V.N. The demand analysis of the enriched fermented milk products on the example of yoghurt. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik.* 2015; (6): 54 (in Russian). EDN VHEUYN
2. Smolnikova F. *et al.* Developing milk-fruit drinks for school nutrition. *Journal of Natural Remedies*. 2021; 21(9-1): 72–77. EDN FWCSHS
3. Rebezov M.B., Naumova N.L., Al'hamova G.K., Kozhevnikova E.Yu., Sorokin A.V. Offers of the enriched milk products in Chelyabinsk. *Dairy industry.* 2011; (8): 38–39 (in Russian). EDN NYGQSR
4. Popova M.A., Rebezov M.B., Nesmeyanova O.V. Fermented milk products for functional purposes (patent search). *Economy and business. A young person's view. Collection of materials from the International correspondence scientific and practical conference of young scientists*. Chelyabinsk: South Ural State University. 2013; 491–493 (in Russian). EDN STGVTV
5. Gorelik A.S., Rebezov M.B., Gorelik O.V. Features of making soft cheeses from the milk of cows-daughters of different bulls-producers. *Agrarian science*. 2023; (1): 90–94 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-90-94
6. Kostenko K.V. *et al.* Optimization of the regeneration process for secondary dairy products using ultrasonic treatment and a study of their stability. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26(1): 140–151 (in Russian). https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-01-140-151
7. Gorelik A.S., Rebezov M.B., Gorelik O.V. Study of the influence of dairy raw materials by seasons of the year on technological parameters in the production of soft cheese. *Agrarian science*. 2023; (9): 59–63 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-59-63
8. Gorelik O.V., Fedoseeva N.A., Knysh I.V. Production technology and quality of rennet cheeses from cow milk of different breeds. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019; 57: 86–92 (in Russian). EDN KTKHZJ
9. Gorelik O.V., Galushina P.S., Knysh I.V., Bobkova E.Yu., Grigoryants I.A. Relationship between cow milk yield and milk quality indicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 677: 032013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032013
10. Gorelik O.V., Fedoseeva N.A., Knysh I.V. The milk yield of cows of Holstein lines of Black and White cattle. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019; 56: 99–105 (in Russian). EDN AEPFHW
11. Pozovnikova M.V., Vasileva O.K., Mitrofanova O.V. Association between Fertility HCD Haplotype, Milk Production, and Reproductive Performance in Holstein Cows. *Russian Agricultural Sciences*. 2021; 47(1): 68–71. https://doi.org/10.3103/s1068367421010146.
12. Rebezov M.B., Gorelik O.V., Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Nusupov A.M. Productive qualities and their interrelation in Holstein cows of Black-and-White breed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; (6): 60–67. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-221-06-60-67

13. Fedoseeva N.A., Gorelik O.V., Likhodeevskaya O.E., Knysh I.V., Likhodeevskij G.A. Productive qualities of holsteinized Black-and-White cattle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 848: 012068. https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012068
14. Горелик А.С., Ребезов М.Б., Горелик О.В. Технологические свойства молока коров с разной долей кровности по голштинской породе. *Аграрная наука*. 2023; (5): 63–67. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-63-67
15. Баеринас М.Н., Неверова О.П., Горелик О.В., Гриценко С.А., Ребезов М.Б., Исаева К.С. Динамика вариации молочных признаков у коров при применении кормовой добавки «ВивАктив». *Аграрная наука.* 2024; (5): 63–68. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-63-68
16. Падерина Р.В., Виноградова Н.Д. Оптимальный возраст осеменения телок как резерв увеличения производства молока. *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии*. 2023; (2): 60–62. https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.2.60
17. Тихонова Е.М., Нечаев А.Ю., Лунегова И.В., Александров В.В. Влияние инновационной кормовой смеси «Ветохит» на рост и развитие телят в молочный период выращивания. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2017; (1): 100–102. EDN YIJDKZ
18. Васильева О.К. Изменение абсолютных показателей и оценки методом BLUP признаков молочной продуктивности коров черно-пестрой породы. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2024; 77: 79–88. EDN XVFNYS
19. Хоменко Р.М., Александров В.В., Сафронов С.Л. Влияние липосомальной кормовой добавки на обеспеченность организма коров витамином А и каротином. *Международный вестник ветеринарии*. 2023; (4): 190–196. https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.4.190
20. Temerbayeva M. *et al.* Technology of Sour Milk Product For Elderly Nutrition. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(1): 291–295. EDN XNJGKT
21. Itbalakova A.B., Rebezov M.B. Development of a technology for a new lactic acid product using a microbiological consortium. *The Journal of Almaty Technological University*. 2025; (1): 106–114. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2025-1-106-114
22. Ребезов М.Б. *и др.* Новые творожные изделия с функциональными свойствами. Челябинск: *ЮУрГУ*. 2011; 93. ISBN 978-5-696-04157-5 EDN QNIQDN
23. Итбалақова А.Б., Өмірзақ Е., Мухтарханова Р.Б., Матибаева А.И., Ребезов М.Б. Микробиологиялық консорциумды қолдану арқылы, жаңа сүт қышқылы өнімін алу технологиясын әзірлеу. *Endless Light in Science*. 2025; (10): 127–133. https://doi.org/10.5281/zenodo.17623108
24. Васильева О.К. Новые критерии долголетнего использования коров черно-пестрой породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2025; (3): 22–26. https://doi.org/10.33943/MMS.2025.24.41.005
25. Мукий Ю.В., Кузнецова Т.Ш. Статистическая оценка показателей удоя коров айрширской породы племенного хозяйства Ленинградской области. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; (2): 171–176. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-171-176
26. Олонцев В.А., Уколов П.И. Селекционно-генетические параметры популяции голштинского скота по признакам с неприрывной изменчивостью в племенном заводе «Бугры» Ленинградской области. *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии.* 2025; (3): 93–97. https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.3.93
27. Олонцев В.А., Уколов П.И. Особенности параметров роста и развития коров-первотелок голштинской породы в популяции племенного завода Ленинградской области. *Journal of Agriculture and Environment*. 2025; (1). https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.1
28. Ковров А.В., Падерина Р.В., Виноградова Н.Д. Влияние генетических факторов на продуктивное долголетие коров. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2019; (3): 179–182. EDN KJGTJF
29. Лоретц О.Г. *и др.* Повышение продуктивного долголетия коров черно-пестрой породы. Екатеринбург: *Уральский государственный аграрный университет.* 2017; 163. ISBN 978-5-87203-403-2 EDN YRUYHS
30. Morozova L. *et al.* Improving the physiological and biochemical status of high-yielding cows through complete feeding. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12(S1): 2181–2190. EDN RCHYBK
31. Грибко А.В., Ребезов М.Б., Горелик О.В. Живая масса и возраст первого осеменения ремонтного молодняка голштинской породы. *Молодежь и наука*. 2023; (10). EDN ZISKRJ
32. 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
33. Горелик А.С., Ребезов М.Б., Белооков А.А., Белоокова О.В., Кульмакова Н.И., Сафронов С.Л. Оценка влияния длительности сервис-периода на молочную продуктивность коров. *Аграрная наука.* 2023; (1): 49–52. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-49-52
34. Обухова Е.Ю., Горелик О.В. Молочная продуктивность коров при использовании пробиотика «Бацелл-М». *Молодежь и наука*. 2018; (5). EDN XUBKLB
35. Ребезов М.Б., Максимюк Н.Н. Применение прогрессивных технологий заготовки и приготовления кормов для качественной кормовой базы молочного скотоводства. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016; (12-6): 1082–1087. EDN XHJJKV
36. Горелик В.С., Семенова Н.Н., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Экологическая оценка применения сукцинат хитозана для коров в зоне Южного Урала. *Актуальные проблемы биотехнологии и ветеринарной медицины. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых*. Иркутск: Иркутский ГАУ. 2017; 301–308. EDN XZGHYD
37. Мукий Ю.В., Серикова Ю.М. Сравнительная оценка динамики молочной продуктивности коров черно-пестрой голштинизированной породы за пять лет в хозяйстве Ленинградской области. *Международный вестник ветеринарии*. 2022; (4): 211–216. https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.4.211
38. Горелик В.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Влияние применения хитозана на среднесуточные удои коров. *Современное состояние, перспективы развития молочного животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции. Материалы международной научно-практической конференции*. Омск: ЛИТЕРА. 2016; 72–75. EDN XHHSZJ
39. Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Горелик А.С. Характеристика хозяйственно-полезных качеств голштинского скота. *Обеспечение устойчивого и биобезопасного развития АПК. Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция*. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова. 2022; 69–75. EDN CIKNVJ

13. Fedoseeva N.A., Gorelik O.V., Likhodeevskaya O.E., Knysh I.V., Likhodeevskij G.A. Productive qualities of holsteinized Black-and-White cattle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 848: 012068. https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012068
14. Gorelik A.S., Rebezov M.B., Gorelik O.V. Technological properties of milk of cows with different proportion of blood in the Holstein breed. *Agrarian science*. 2023; (5): 63–67. (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-63-67
15. Baerinas M.N., Neverova O.P., Gorelik O.V., Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Isaeva K.S. Dynamics of variation of dairy characteristics in cows when using the feed additive "VivAktiv". *Agrarian science*. 2024; (5): 63–68 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-63-68
16. Paderina R.V., Vinogradova N.D. Optimal calf insemination age as a reserve for increasing milk production. *Legal regulation in veterinary medicine*. 2023; (2): 60–62 (in Russian). https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.2.60
17. Tikhonova E.M., Nechaev A.Yu., Lunegova I.V., Alexandrov V.V. The influence of innovative feed mixture "Vetochit" at growth and development of calves in dairy period of growing. *Issues of Regulatory regulation in Veterinary Medicine*. 2017; (1): 100–102 (in Russian). EDN YIJDKZ
18. Vasileva O.K. Changes in absolute indicator and assessment by the BLUP method of milk productivity traits of Black and White cows. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2024; 77: 79–88 (in Russian). EDN XVFNYS
19. Khomenko R.M., Alexandrov V.V., Safronov S.L. The effect of liposomal feed additives on the provision of vitamin A and carotene in cows. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2023; (4): 190–196 (in Russian). https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.4.190
20. Temerbayeva M. *et al.* Technology of Sour Milk Product For Elderly Nutrition. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(1): 291–295. EDN XNJGKT
21. Itbalakova A.B., Rebezov M.B. Development of a technology for a new lactic acid product using a microbiological consortium. *The Journal of Almaty Technological University*. 2025; (1): 106–114. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2025-1-106-114
22. Rebezov M.B. *et al.* New curd products with functional properties. Chelyabinsk: *South Ural State University*. 2011; 93 (in Russian). ISBN 978-5-696-04157-5 EDN QNIQDN
23. Itbalakova A.B., Omirzak Y., Mukhtarkhanova R.B., Matibayeva A.I., Rebezov M.B. Development of a technology for a new lactic acid product using a microbiological consortium. *Endless Light in Science*. 2025; (10): 127–133 (in Kazakh). https://doi.org/10.5281/zenodo.17623108
24. Vasileva O.K. New criteria for long-term use of Black-and-White cows. *Dairy and Cattle Farming*. 2025; (3): 22–26 (in Russian). https://doi.org/10.33943/MMS.2025.24.41.005
25. Mukiy Yu.V., Kuznetsova T.Sh. Statistical estimation of cow milk yield of ayrshire breed on the breeding farm of Leningrad region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018; (2): 171–176 (in Russian). https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-171-176
26. Olontsev V.A., Ukolov P.I. Selection and genetic parameters of the Holstein cattle population based on traits with continuous variability at the Bugry breeding farm in the Leningrad Region. *Legal regulation in veterinary medicine*. 2025; (3): 93–97 (in Russian). https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.3.93
27. Olontsev V.A., Ukolov P.I. Specifics of growth and development parameters of Holstein breeding cows in the population of the breeding plant of Leningrad Oblast. *Journal of Agriculture and Environment*. 2025; (1) (in Russian). https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.1
28. Kovrov A.V., Paderina R.V., Vinogradova N.D. Effects of genetic factors on productive longevity of cows. *Issues of Regulatory regulation in Veterinary Medicine*. 2019; (3): 179–182 (in Russian). EDN KJGTJF
29. Loretts O.G. *et al.* Increasing the productive longevity of Black-and-White cows. Yekaterinburg: *Ural State Agrarian University*. 2017; 163 (in Russian). ISBN 978-5-87203-403-2 EDN YRUYHS
30. Morozova L. *et al.* Improving the physiological and biochemical status of high-yielding cows through complete feeding. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12(S1): 2181–2190. EDN RCHYBK
31. Gribko A.V., Rebezov M.B., Gorelik O.V. Live weight and age of the first insemination of repair young Holstein breed. *Youth and science*. 2023; (10) (in Russian). EDN ZISKRJ
32. 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
33. Gorelik A.S., Rebezov M.B., Belookov A.A., Belookova O.V., Kulmakova N.I., Safronov S.L. Assessment of influence of duration of the service period on the milk yield of cows. *Agrarian science*. 2023; (1): 49–52 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-49-52
34. Obukhova E.Yu., Gorelik O.V. Milk productivity of cows when using probiotic «Bacell-M». *Youth and science*. 2018; (5) (in Russian). EDN XUBKLB
35. Rebezov M.B., Maksimyuk N.N. Using advanced technologies and preparation of feed preparations for quality feed base dairy cattle. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016; (12-6): 1082–1087 (in Russian). EDN XHJJKV
36. Gorelik V.S., Semenova N.N., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Environmental assessment of the application of chitosan succinate for cows in the area of the Southern Urals. *Actual problems of biotechnology and veterinary medicine: Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists*. Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University. 2017; 301–308 (in Russian). EDN XZGHYD
37. Mukiy Y.V., Serikova Y.M. Comparative assessment of the dynamics of milk productivity of black and white holstinized breed cows over five years on a farm in the Leningrad region. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2022; (4): 211–216 (in Russian). https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.4.211
38. Gorelik V.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Effect of chitosan on average daily milk yield of cows. *Current state, prospects for the development of dairy farming and processing of agricultural products. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Omsk: LITERA. 2016; 72–75 (in Russian). EDN XHHSZJ
39. Rebezov MB, Kharlap S.Yu., Gorelik AS Characteristics of economic and useful qualities of Holstein cattle. *Ensuring sustainable and biosafe development of the agro-industrial complex: All-Russian (national) scientific and practical conference*. Nalchik: Kabardino-Balkar State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2022; 69–75 (in Russian). EDN CIKNVJ

40. Лоретц О.Г., Ребезов М.Б., Горелик А.С. Эффективность производства молока в разные сезоны года. *Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных. Материалы международной научно-практической конференции*. Новосибирск: Золотой колос. 2018; 34–36. EDN YNXLIT

41. Канева Е.В., Дробышевский М.В., Горелик О.В., Горелик А.С., Ребезов М.Б. Влияние быка-производителя на изменчивость показателей роста дочерей. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния.* 2025; (10): 79–90. EDN JDZCGH

42. Гриценко С.А., Ребезов М.Б., Хакназаров А.А., Мухамбетов Д.Г. Сравнительная оценка генетического потенциала быков-производителей и продуктивных качеств их потомства в зависимости от сочетаний линейной принадлежности отцов и матерей в стадах хозяйств Свердловской и Челябинской областей. *Аграрный вестник Урала*. 2025; 25(5): 739–757. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-05-739-757

43. Дробышевский М.В., Канева Е.В., Горелик О.В., Горелик А.С., Ребезов М.Б. Эффективность выращивания ремонтного молодняка разных быков-производителей голштинской породы. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2025; (10): 238–248. EDN BHICDP

44. Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Весовой рост ремонтных телок-дочерей голштинских быков-производителей. *Аграрная наука и производство: реализация инновационных технологий агропромышленного комплекса. Сборник статей, подготовленный в рамках всероссийской научно-практической конференции*. Екатеринбург: Уральский ГАУ. 2022; 39–47. EDN ROMEUS

45. Горелик А.С. и др. Оценка изменчивости молочных признаков коров в зависимости от лактационной деятельности. *Аграрная наука*. 2026; (2): 60–67. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-60-67

46. Свешникова Е.Я., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Оценка коров голштинской породы разных линий по молочной продуктивности. *Обеспечение устойчивого и биобезопасного развития АПК. Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция*. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова. 2022; 79–85. EDN JWIWVY

40. Loretts O.G., Rebezov M.B., Gorelik A.S. Efficiency of milk production in different seasons of the year. *Forage production, productivity, longevity and welfare of animals. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Novosibirsk: Zolotoy kolos. 2018; 34–36 (in Russian). EDN YNXLIT

41. Kaneva E.V., Drobyshevsky M.V., Gorelik O.V., Gorelik A.S., Rebezov M.B. Influence of stud bull on variability of daughters' growth performance. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2025; (10): 79–90 (in Russian). EDN JDZCGH

42. Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Khaknazarov A.A., Mukhambetov D.G. Comparative assessment of the genetic potential of breeding bulls and productive qualities of their offspring depending on the combinations of the linear affiliation of fathers and mothers in herds of farms in the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25(5): 739–757 (in Russian). https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-05-739-757

43. Drobyshevsky M.V., Kaneva E.V., Gorelik O.V., Gorelik A.S., Rebezov M.B. The effectiveness of breeding repair young animals of different Holstein bulls. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2025; (10): 238–248 (in Russian). EDN BHICDP

44. Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Weight growth of repair heifers-daughters of Holstein bulls-producers. *Agrarian science and production: Implementation of innovative technologies in the agro-industrial complex. Collection of articles prepared within the framework of the All-Russian scientific and practical conference*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2022; 39–47 (in Russian). EDN ROMEUS

45. Gorelik A.S. *et al.* Evaluation of variability of dairy characteristics of cows depending on lactation activity. *Agrarian science*. 2026; (2): 60–67 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-60-67

46. Sveshnikova E.Ya., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Evaluation of Holstein cows of different lines for milk productivity. *Ensuring sustainable and biosafe development of the agro-industrial complex: All-Russian (national) scientific and practical conference*. Nalchik: Kabardino-Balkar State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2022; 79–85 (in Russian). EDN JWIWVY

ОБ АВТОРАХ

Светлана Валерьевна Путинцева [1]
консультант по племенному делу
putinceva-s@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0008-5844-4495

Сергей Леонидович Сафронов[2]
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры кормления и разведения животных
safronovsl@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-5478-9698

Наталия Дмитриевна Виноградова[2]
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры кормления и разведения животных
n_vinogradova35@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8030-4877

Ирина Владимировна Кныш[2]
кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры кормления и разведения животных
ikgau@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5339-6630

[1] ООО «Альта Дженетикс Раша»,
ул. Дружинников, 56, Воронеж, 394026, Россия

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

ABOUT THE AUTHORS

SvetlanaValerevna Putinceva[1]
breeding consultant
putinceva-s@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0008-5844-4495

Sergei Leonidovich Safronov[2]
Doctor of Agricultural Sciences, Associate professor, Associate professor of the Department of feeding and breeding of animals
saronovsl@list.ru
https://orcid.org/0000-0002-5478-9698

Natalia Dmitrievna Vinogradova[2]
Candidate of Agricultural Sciences, Associate professor, Associate professor of the Department of feeding and breeding of animals
n_vinogradova35@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8030-4877

Irina Vladimirovna Knysh[2]
Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate professor of the Department of feeding and breeding of animals
ikgau@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5339-6630

[1] LLC «Alta Genetics Russia»,
56 Druzhinnikov st., Voronezh, 394026, Russia

[2]Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine,
5 Chernigovskaya st., Saint-Petersburg, 196084,
Russia

УДК 634.11: 631.895: 631.671.3

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-132-138

С.В. Резвякова ✉

М.В. Евдакова

Е.В. Митина

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Орел, Россия

✉ *Lana8545@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 26.03.2026

Одобрена после рецензирования: 11.08.2026

Принята к публикации: 25.08.2026

© Резвякова С.В., Евдакова М.В., Митина Е.В.

Влияние листовых подкормок на устойчивость сортов яблони к засухе в условиях Орловской области

РЕЗЮМЕ

Исследования проводили в учебном саду Орловского государственного аграрного университета (г. Орел, Орловская обл., Россия) на темно-серой лесной среднесуглинистой почве. Сад заложен в октябре 2021 года однолетними саженцами по схеме 3х5 м (подвой 54-118). Объектами исследования являлись деревья сортов яблони Ветеран и Орловское полосатое и органоминеральное удобрение-биостимулятор «Биостим Универсал», содержащее N (общ.) — 6,0%, K_2O — 1,3%, SO_3 — 5,0% и 10,0% свободных аминокислот растительного происхождения. Листовые подкормки проводили 4 раза. Схема опыта: 1 — контроль (без обработки); 2-4 — фолиарная подкормка агрохимикатом с нормами расхода 3; 5 и 7 л/га. Повторность опыта трехкратная, в повторности по 5 деревьев. В июле 2025 года наблюдалась выраженная засуха на фоне аномальной жары, включая абсолютный максимум сезона +34,3 °С. ГТК составил 0,6 единиц, что классифицируется как средняя засуха. Оводненность листьев яблони напрямую зависит от уровня влагообеспеченности. В условиях переувлажнения (июнь и август) данный показатель был максимальным (62,4–64,7%), тогда как в засушливый период (июль) снижался до 54,2–55,9% в зависимости от сорта. Применение органоминерального удобрения-биостимулятора способствовало повышению оводненности листьев и снижению водного дефицита. Наиболее выраженное положительное действие отмечено при дозе 7 л/га: прибавка оводненности листьев составила до 2,7% (в условиях засухи); водный дефицит снижался на 2,9% по сравнению с контролем у обоих сортов; интенсивность транспирации уменьшалась на 3,5–3,9 мг/см²·час, что свидетельствует о более экономном расходовании влаги. Сорт Орловское полосатое показал более высокие значения оводненности на контроле в благоприятных условиях, однако в стрессовый период (июль) разница между сортами была незначительной. Сорт Ветеран характеризовался изначально более низкой интенсивностью транспирации на контроле, но проявил хорошую отзывчивость на обработки биостимулятором, особенно в части снижения транспирационных потерь.

Ключевые слова: яблоня, органоминеральные удобрения, листовые подкормки, засухоустойчивость, интенсивность транспирации

Для цитирования: Резвякова С.В., Евдакова М.В., Митина Е.В. Влияние листовых подкормок на устойчивость сортов яблони к засухе в условиях Орловской области. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 132–138.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-132-138

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-132-138

Svetlana V. Rezvyakova ✉

Maria V. Evdakova

Elena V. Mitina

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russia

✉ *Lana8545@yandex.ru*

Received by the editorial office: 26.03.2026

Accepted in revised: 11.08.2026

Accepted for publication: 25.08.2026

© Rezvyakova S.V., Evdakova M.V., Mitina E.V.

The effect of foliar fertilization on the drought resistance of apple varieties in the Oryol region

ABSTRACT

The studies were conducted in the educational garden of the Oryol State Agrarian University (Oryol, Oryol Region, Russia) on dark gray forest soil. The orchard was planted in October 2021 with one-year-old seedlings in a 3x5 m layout (rootstock 54-118). The objects of the study were apple trees of the Veteran and Orlovskoe Polosatoe varieties, as well as the organic-mineral fertilizer-biostimulant Biostim Universal, which contains 6.0% N (total), 1.3% K2O, 5.0% SO3, and 10.0% free amino acids of plant origin. Leaf fertilization was carried out 4 times per season. The experience scheme: 1 - control (without treatment); 2-4 - spraying of trees with agrochemicals with consumption rates of 3, 5 and 7 liters/ha. The repetition of the experiment is threefold, with 5 trees each. In July 2025, there was a pronounced drought due to abnormal heat, including an absolute season high of +34.3 °C. The GTC was 0.6, which is classified as an average drought. The water content of apple tree leaves directly depends on the level of moisture availability. In conditions of overwatering (June and August), this indicator was maximum (62.4–64.7%), whereas in the dry period (July), it decreased to 54.2–55.9%, depending on the variety. The use of organic-mineral fertilizer-biostimulant increased leaf moisture content and reduced water deficit. The most pronounced positive effect was observed at a dose of 7 l/ha: the increase in leaf water content was up to 2.7% (under drought conditions); the water deficit decreased by 2.9% compared to the control in both varieties; and the transpiration rate decreased by 3.5–3.9 mg/cm²·h, indicating a more efficient use of moisture. The Orlovskoe Polosatoe variety showed higher water content values under favorable conditions, but the difference between the varieties was insignificant during the stressful period (July). The Veteran variety initially had a lower transpiration rate, but it responded well to biostimulant treatments, especially in terms of reducing transpiration losses.

Key words: apple tree, organic-mineral fertilizers, foliar fertilization, drought resistance, transpiration intensity

For citation: Rezvyakova S.V., Evdakova M.V., Mitina E.V. The effect of foliar fertilization on the drought resistance of apple varieties in the Oryol region. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 132–138 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-132-138

Введение/Introduction

В Центрально-Черноземном регионе Российской Федерации под яблоней занято более 70% садов [1]. В последние десятилетия в зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения, к которой относится Орловская область, наблюдается учащение периодов с дефицитом атмосферных осадков и повышение температуры воздуха в летние месяцы. Это приводит к возникновению водного стресса у плодовых растений, что негативно сказывается на их физиолого-биохимическом состоянии, снижает продуктивность и качество плодов.

В контексте климатических изменений актуальным становится подбор сортов для закладки современных садов, обладающих повышенной толерантностью к неблагоприятным условиям окружающей среды, таким как экстремальные температуры (высокие и низкие) и дефицит или избыток влаги [2–4]. Тем не менее, количество сортов с высокой резистентностью к природным стрессовым факторам ограничено. Следовательно, первостепенное значение приобретает разработка и применение агротехнических мероприятий, направленных на повышение адаптивности растений.

Засуха представляет собой одно из наиболее значимых стихийных бедствий, обуславливающих потенциальные потери урожая. Российские и зарубежные исследователи отмечают тенденцию к увеличению неопределенности в прогнозировании влагообеспеченности аграрных территорий [5–6]. Перспективы указывают на возможное усиление аридности климата, что приведет к снижению продуктивности основных сельскохозяйственных культур в различных географических зонах, в особенности в средних и южных широтах [7–8].

Работы по повышению экологической стабильности, урожайности и качества плодов культуры ведутся учеными в разных направлениях. Наряду с селекцией засухоустойчивых сортов и подвоев, важная роль отводится агротехническим приемам, позволяющим улучшить водоудерживающую способность тканей, активизировать антиоксидантные системы и оптимизировать минеральное питание в условиях дефицита влаги [9–10].

В исследованиях Савельевой Н.Н., Юшкова А.Н., Земисова А.С. [11] было установлено, что в связи с современными климатическими изменениями, адаптивный потенциал яблони к засухе, выраженный в минимизации потерь влаги, становится определяющим фактором. Оценка водоудерживающей способности и интенсивности восстановления оводненности тканей позволила идентифицировать сорта с повышенной устойчивостью к данному абиотическому стрессору. Выделены сорта Памяти Нестерова, Фрегат и Благовест, характеризующиеся минимальной потерей воды при дегидратации (не более 10,0%) и высокой скоростью реоводнения тканей при последующем насыщении (до 100%).

Исследование Ефимовой И.Л. и Радченко Е.А. [10] было направлено на выявление устойчивости подвоев яблони к летним стрессовым условиям, в частности к засухе. Была изучена их способность поддерживать водный гомеостаз, проанализированы влажность и водоудерживающая способность листьев. В ходе проведенного исследования лабораторно-полевым методом на отводках яблони выявлены различия в их засухоустойчивости в период максимального водного дефицита. Подвой ММ-106 служил контролем. Было установлено, что подвой СТ 20-2 обладает лучшей водоудерживающей способностью листьев, теряя за 2 часа экспозиции меньше воды (28,3%) по сравнению с контролем (34,7%). Данный подвой выделен авторами как перспективный источник засухоустойчивости для селекционных программ.

Ненько Н.И., Ульяновская Е.В., Киселева Г.К. [12] в своей работе затронули актуальную проблему, связанную с устойчивостью яблони к засухе и парше, которая распространяется и усиливается на фоне климатических изменений и участившихся эпидемий. Ими были изучены физиолого-биохимические особенности сортов яблони, различающихся по происхождению и устойчивости к парше. Исследования с использованием современных методов показали, что концентрация ключевых метаболитов (кальций, хлорофиллы, фенолкарбоновые кислоты, пероксидаза) в течение лета варьируется и реагирует на экстремальные температуры и дефицит влаги. Сорта Фортуна, Союз, Родничок и Прикубанское, показавшие высокую засухоустойчивость, демонстрировали меньшее снижение содержания воды в листьях (68,12–69,91% в августе) по сравнению с другими. У этих сортов также отмечалась стабильная концентрация ионов кальция (523–987 мг/кг сырого вещества) на протяжении всего лета.

Выявлено, что у сортов, устойчивых к парше (Фортуна, Союз) и неустойчивых к ней (Родничок, Прикубанское), в летний период увеличивается содержание связанной воды, фенолкарбоновых кислот и активность пероксидазы.

В результате стресса в летний период рост растений замедляется, наблюдается опадение плодов и листьев, плоды не развиваются до нужного размера, увядают, а также снижается образование новых цветковых почек, что в конечном итоге приводит к снижению урожайности [13, 14]. В условиях стресса, обусловленного дефицитом влаги и экстремальными температурами воздуха, в листьях яблони регистрировалось повышение уровня свободного пролина, что является маркером засухоустойчивости [13].

В условиях продолжительного дефицита влаги у плодовых культур в летний период наблюдается в дальнейшем снижение их способности противостоять морозам. Это обусловлено тем, что ранний листопад и замедление накопления питательных веществ препятствуют естественному процессу закаливания растений. Наиболее пагубное

воздействие на плодовые оказывает одновременное воздействие засухи, высоких температур и интенсивного солнечного излучения. Такая комбинация факторов не только нарушает фотосинтез, дыхание и водный баланс, но и негативно сказывается на усвоении растениями минеральных элементов [8, 15, 16].

Одним из наиболее перспективных и технологичных приемов повышения стрессоустойчивости яблони является применение листовых (некорневых, фолиарных) подкормок комплексными удобрениями, содержащими макро- и микроэлементы в хелатной форме, а также физиологически активные вещества [17–19].

Цель исследования — выявить влияние листовых подкормок разными дозами комплексного удобрения «Биостим Универсал» на засухоустойчивость сортов яблони в условиях Центрально-Черноземного региона.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводили в учебном саду Орловского государственного аграрного университета (г. Орел, Орловская обл., Россия) на темно-серой лесной среднесуглинистой почве. Сад заложен в октябре 2021 года однолетними саженцами по схеме 3х5 м, сорта привиты на подвое 54–118.

Объектами исследования являлись деревья сортов яблони Ветеран и Орловское полосатое, а также органоминеральное удобрение-биостимулятор «Биостим Универсал».

Сорт яблони Ветеран, сорт Орловское полосатое зимнего срока потребления, оригинатор сортов — ФГБНУ «ВНИИ селекции плодовых культур» (д. Жилина, Орловская обл., Россия). Оба сорта включены в Госреестр селекционных достижений в Центрально-Черноземном регионе. Данные сорта яблонь широко распространены в промышленных и любительских садах.

«Биостим Универсал» — жидкое универсальное удобрение-биостимулятор, содержащий N (общ.) — 6,0%, K_2O — 1,3%, SO_3 — 5,0% и 10,0% свободных аминокислот растительного происхождения. Производитель агрохимиката — АО «Щелково Агрохим», Россия.

Листовые подкормки проводили 4 раза за сезон с интервалом 14 дней, начиная со 2-й декады мая, ранцевым ручным опрыскивателем ЖУК ОГ-112 (ООО фирма «Цикл», Ковров, Владимирская обл., Россия) из расчета 2 л раствора на одно дерево.

Варианты опыта:

1. Контроль (без обработки),
2. «Биостим Универсал», 3 л/га,
3. «Биостим Универсал», 5 л/га,
4. «Биостим Универсал», 7 л/га.

Повторность опыта трехкратная, в повторности 5 деревьев.

В 2025 году погодные условия оказали неоднозначное влияние на рост и развитие молодых деревьев яблони. Уже в апреле, несмотря на то, что среднемесячная температура составила 9,3 °С (на 1,7 °С выше нормы), а осадков выпало 42 мм (105% от нормы), что в целом благоприятствовало оттаиванию и прогреванию почвы, ситуация осложнилась поздним заморозком до −3,9 °С, зафиксированным 28 апреля. В мае среднесуточная температура воздуха была ниже среднемноголетней на 0,7 °С, причем 11 и 12 мая отмечены заморозки в утренние часы до -2,0–(-2,5) °С, осадков выпало на 62,0% меньше нормы.

Средняя температура воздуха в июне составила 16,2 °С, что на 1,7 °С ниже нормы. Пониженная температура воздуха усугублялась значительным переувлажнением почвы — 187,0% от нормы в 65,0 мм, так как выпало 122 мм осадков. В июле средняя температура воздуха составила 21,5 °С (на 1,6 °С выше нормы), а осадков выпало всего 41 мм при среднемноголетнем значении 87,0 мм, следовательно, наблюдалась выраженная засуха на фоне аномальной жары, включая абсолютный максимум сезона +34,3 °С 11 июля.

В августе среднемесячная температура воздуха была ниже нормы на 1,7 °С на фоне обилия осадков — 120 мм, что в 2,2 раза больше нормы.

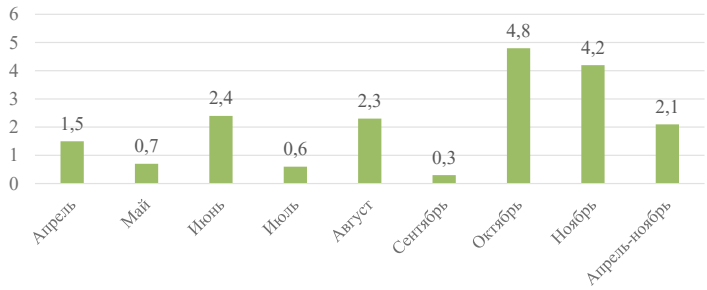
В сентябре среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетние значения на 1,4 °С на фоне недостаточного количества осадков — 24,5% от нормы. Аномально теплыми были октябрь, ноябрь и декабрь, среднесуточная температура воздуха была выше нормы на 1,4; 4,5 и 2,4 °С соответственно.

Оценка влагообеспеченности по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Т.Г. Селянинова показала, что в апреле было достаточно влажно, ГТК = 1,5. В мае и июле отмечена средняя засуха — ГТК составил 0,7 и 0,6 соответственно (рис. 1). В сентябре отмечена очень сильная засуха, ГТК = 0,3. В июне, августе, октябре и ноябре было чрезмерно влажно — ГТК достиг значений от 2,3 до 4,8. В среднем за период с апреля по ноябрь было чрезмерно влажно, ГТК составил 2,1.

Формула расчета: ГТК = R × 10 / Σt, где: R — сумма осадков в мм за период со среднесуточной температурой выше 10 °С; Σt — сумма среднесуточных температур в °С за этот же период.

Рис. 1. Значения гидротермического коэффициента по Т.Г. Селянинову за период с апреля по ноябрь 2025 г.

Fig. 1. Hydrothermal coefficient values according to T.G. Selyaninov for the period from April to November 2025



Классификация влагообеспеченности:
ГТК < 0,4 — очень сильная засуха;
ГТК от 0,4 до 0,5 — сильная засуха;
ГТК от 0,6 до 0,7 — средняя засуха;
ГТК от 0,8 до 0,9 — слабая засуха;
ГТК от 1,0 до 1,5 — достаточно влажно;
ГТК > 1,5 — чрезмерно влажно.

Таким образом, хотя отдельные месяцы характеризовались относительно благоприятными условиями, в целом сезон 2025 года следует оценить как сложный, с резкими колебаниями среднесуточных температур и количества осадков.

Показатели водного режима (оводненность, водный дефицит, интенсивность транспирации) определяли весовым методом с помощью торсионных весов ВТ-500 (Россия).

Статистическая обработка результатов выполнена по Доспехову Б.А.[1] с использованием пакета прикладных программ Excel (США).

Результаты и обсуждение /
Results and discussion

В период вегетации яблони в 2025 году засушливые периоды неоднократно чередовались с обильным выпадением осадков и переувлажнением почвы. Такие погодные условия дали возможность в полной мере оценить основные показатели водного режима растений.

Засушливые условия, когда влажность почвы на глубине залегания максимального количества всасывающих корней молодых деревьев (20–40 см) составляет менее 10%, и высокие температуры воздуха вызывают замедление роста и развития, осыпание завязей и даже плодов, изменение скорости и направленности метаболических процессов, поскольку не хватает основного источника жизни — воды.

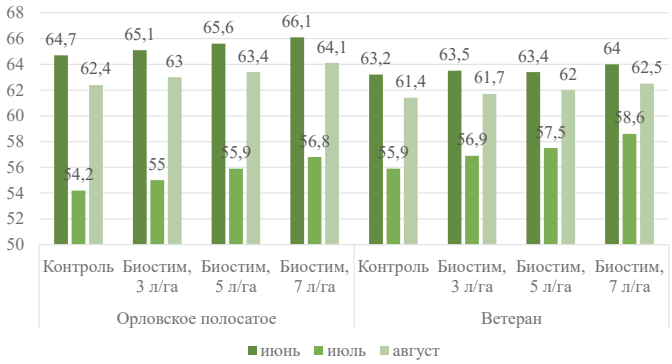
В описываемом опыте изучение динамики оводненности листьев в течение летних месяцев показало, что в июне и августе в чрезмерно влажных условиях оводненность листьев по обоим сортам выше по сравнению с аналогичным показателем в июле в условиях средней засухи (по Селянинову Т.Г.).

Так, на контрольных вариантах оводненность листьев в июне и августе по сорту Орловское полосатое составила 64,7 и 62,4%, по сорту Ветеран — 63,2 и 61,4% соответственно (рис. 2).

В июле оводненность листьев по сорту Орловское полосатое снизилась до 54,2%, по сорту Ветеран — до 55,9%.

Листовые подкормки органо-минеральным удобрением-биостимулятором «Биостим Универсал» способствовали повышению оводненности листьев, что можно объяснить наличием калия в агрохимикате. Из курса физиологии известно, что данный элемент регулирует вязкость цитоплазмы и открывание устьиц, увеличивает водоудерживающую способность клеток и тканей.

Рис. 2. Динамика оводненности листьев яблони, % от сырой массы
Fig. 2. Dynamics of leaf water content in apple trees, % of fresh weight



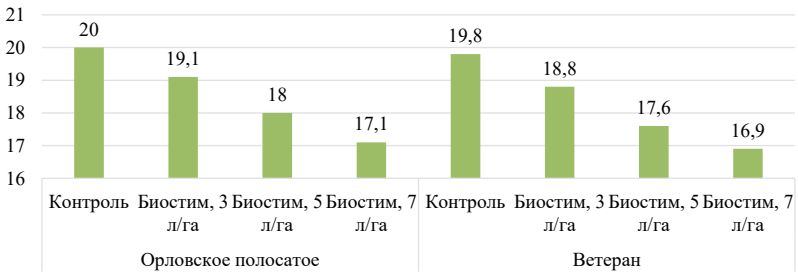
Применение 3 л/га агрохимиката «Биостим Универсал» незначительно снизило значение водного дефицита листьев сортов яблони — на 0,9–1,0%. Увеличение дозы до 5 л/га увеличило разницу

При дозе агрохимиката 5 л/га прибавка оводненности листьев была незначительной и получена по сорту Орловское полосатое в июне — 0,9%, июле — 1,7% и августе — 1,0%; по сорту Ветеран в июне — 0,2%, июле — 0,6% и августе — 0,3%. Максимальная прибавка оводненности листьев получена при дозе агрохимиката 7 л/га: по сорту Орловское полосатое в июне — 1,4%, июле — 2,6% и августе — 1,7%; по сорту Ветеран в июне — 0,8%, июле — 2,7% и августе — 1,1%.

Анализ результатов свидетельствует о том, что при достаточной влагообеспеченности почвы (июнь и август) действие удобрений проявляется в меньшей степени по сравнению с условиями засухи (июль).

Определение водного дефицита в июле 2025 года подтвердило положительное влияние листовых подкормок на состояние растений (рис. 3). На контрольных вариантах недостаток насыщения водой растительных клеток листьев был максимальным и составил по сорту Орловское полосатое 20%, сорту Ветеран — 19,8%.

Рис. 3. Водный дефицит листьев яблони в условиях засухи, июль 2025 г.
Fig. 3. Leaf water deficit in apple trees under drought conditions, July 2025.



[1] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс. 2014; 352

с контрольным вариантом в сторону понижения по сорту Орловское полосатое на 2,0%, по сорту Ветеран — на 2,2%. Лучший результат по снижению водного дефицита листьев получен на вариантах с дозами агрохимиката 7 л/га. По обоим сортам разница с контролем составила 2,9%. Листовые подкормки способствуют, в том числе, лучшему развитию корневой системы, что обеспечивает поступление воды с почвенным раствором. Возникает водный дефицит из-за потери воды растением, когда эти потери не восполняются поступлением ее из почвы.

Рис. 4. Интенсивность транспирации листьев сортов яблони, мг/см² · час
Fig. 4. Transpiration rate of apple leaves of varieties, mg/см² · hour

Следует отметить, что при водном дефиците 25% и более устьица закрываются, листья начинают завядать, снижается интенсивность роста и фотосинтеза, нарушается энергетический обмен и синтетическая деятельность клеток.

Важным показателем водного режима и состояния растений в целом является интенсивность транспирации. Данный показатель характеризует массу воды, испаряемой с единицы площади листьев за единицу времени. Значение этого процесса для поддержания жизнедеятельности растений многогранно — это и регуляция температуры поверхности листа, и транспорт необходимых элементов питания, и создание отрицательного давления в сосудистой системе, за счет которого вода движется от корней в крону дерева.

В 2025 году интенсивность транспирации листьев исследовали в условиях засухи, т.е. в июле. Результаты приведены на рисунке 4. На контрольных вариантах значение данного показателя по сорту Орловское полосатое составило 11,8 мг/см² · час, по сорту Ветеран было несколько ниже — 11,1 мг/см² · час, что обусловлено биологическими особенностями сортов.

После листовых подкормок агрохимикатом «Биостим Универсал» из расчета 3 л/га интенсивность транспирации листьев уменьшилась у сорта Орловское полосатое на 0,9 мг/см² · час и 1,7 мг/см² · час у сорта Ветеран. Увеличение дозы агрохимиката до 5 л/га снизило изучаемый показатель у сорта Орловское полосатое на 2,1 мг/см² · час и у сорта Ветеран на 2,5 мг/см² · час.

Листовая подкормка «Биостим Универсалом» с дозой 7 л/га максимально замедлила интенсивность транспирации листьев. Так, у сорта Орловское полосатое снижение относительно контроля составило 3,5 мг/см² · час, у сорта Ветеран — 3,9 мг/см² · час.

Это можно объяснить тем, что поступление элементов минерального питания в хелатной легкодоступной форме и аминокислот через листья обеспечивает оптимизацию всех физиологических процессов.

В результате поглощенные ионы используются в процессе синтеза новых веществ. При этом связывается поступающая от корней вода, а испаряться может только несвязанная (свободная) вода. Кроме того, отток продуктов фотосинтеза к корням способствует их росту и развитию, появляется больше всасывающих корней, которые активнее перекачивают воду надземным органам и, тем самым, повышают оводненность и уменьшают водный дефицит листьев.

Выявлена высокая отрицательная зависимость между показателем оводненности листьев и водным дефицитом, оводненности листьев и интенсивностью транспирации (-0,81; -0,94 соответственно). Высокая положительная связь выявлена между показателем водного дефицита и интенсивностью транспирации, где коэффициент корреляции составил 0,96.

Полученные результаты подчеркивают значение листовых подкормок для сохранения стабильности внутренней водной среды в листьях растений. Поступление азота и калия из удобрения способствует снижению содержания свободной воды и увеличению концентрации растворенных веществ, таких, как сахара и аминокислоты.

Сера является обязательным компонентом метаболитов, которые участвуют в антиоксидантной защите и сигнальных путях ответа на абиотические стрессы, включая низко- и высокотемпературные.

В результате, несмотря на увеличение оводненности листьев с повышением нормы удобрений, снижается водный дефицит и интенсивность транспирации.

Выводы/Conclusion

1. Оводненность листьев молодых деревьев яблони напрямую зависит от уровня влагообеспеченности. В условиях переувлажнения (июнь и август) данный показатель был максимальным (62,4–64,7%), тогда как в засушливый период (июль) снижался до 54,2–55,9% в зависимости от сорта. Это подтверждает высокую чувствительность растений к чередованию гидротермических стрессов.

2. Применение органоминерального удобрения-биостимулятора «Биостим Универсал» способствовало повышению оводненности листьев и снижению водного дефицита. Наиболее выраженное положительное действие отмечено при дозе 7 л/га: прибавка оводненности листьев составила до 2,7% (в условиях засухи); водный дефицит снижался на 2,9% по сравнению с контролем у обоих

сортов; интенсивность транспирации уменьшалась на 3,5–3,9 мг/см²·час, что свидетельствует о более экономном расходовании влаги.

3. Сорт Орловское полосатое показал более высокие значения оводненности на контроле в благоприятных условиях, однако в стрессовый период (июль) разница между сортами была незначительной. Сорт Ветеран характеризовался изначально более низкой интенсивностью транспирации на контроле, но проявил хорошую отзывчивость на обработки биостимулятором, особенно в части снижения транспирационных потерь.

4. Наибольшая эффективность обработок проявилась именно в стрессовых условиях засухи (июль), применение биостимулятора «Биостим Универсал» в дозе 7 л/га является эффективным агроприемом для повышения засухоустойчивости молодых деревьев яблони сортов Ветеран и Орловское полосатое и стабилизации водного обмена в условиях контрастных погодных явлений.

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 госзадания FEEF-2024-0008 на тему «Разработка механизмов управления продуктивностью молодого яблоневого сада на основе применения препаратов и средств биологической защиты в условиях Центрально-Черноземной зоны».

FINANCING

The research was conducted as part of the state assignment FEEF-2024-0008 on the topic «Development of mechanisms for managing the productivity of a young apple orchard based on the use of agrochemicals and biological protection agents in the Central Black Earth Zone.»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Лучшие районированные сорта яблони селекции ВНИИСПК для разных регионов России. *Аграрная наука*. 2020; (10): 92–94. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-92-94
2. Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Краткие итоги и перспективы селекции яблони во ВНИИСПК. *Аграрная наука*. 2021; (10): 90–92. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-90-93
3. Подгаецкий М.А., Евдокименко С.Н. Оценка засухоустойчивости малины. *Садоводство и виноградарство*. 2024; (2): 13–21. https://doi.org/10.31676/0235-2591-2024-2-13-21
4. Редин Д.В. Изучение водного обмена и засухоустойчивости яблони в условиях Среднего Поволжья. *Известия Дагестанского ГАУ*. 2024; (4): 87–94. EDN GGWIDI
5. Ненько Н.И., Ульяновская Е.В., Киселева Г.К. Устойчивость яблони к экстремальным температурам и низкой влагообеспеченности. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018; (1): 27–30. EDN NRSFGP
6. Кочубей А.А., Заремук Р.Ш. Исследование засухоустойчивости гибридного материала сливы домашней в условиях юга России. *Аграрная наука*. 2020; (6): 94–98. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-94-98
7. Саримсаков М.М., Ибрагимова Х.Р. Элементы технологии полива интенсивных яблоневых садов в условиях Узбекистана. *Аграрная наука*. 2018; (6): 66–67. EDN XUJRAL
8. Сулейменова Н., Тогисбаева А., Махамедова Б. Влияние абиотических факторов экосистемы на рост и развитие плодовой культуры, яблони при изменении климата. *Исследования, результаты*. 2024; (2): 63–74. https://doi.org/10.37884/2-2024/07
9. Седов Е.Н., Красова Н.Г., Корнеева С.А., Янчук Т.В., Галашева А.М. Сорта яблони народной селекции как исходные формы при создании конкурентоспособных, адаптивных сортов. *Аграрная наука*. 2022; (1): 106–109. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-106-109
10. Ефимова И.Л., Радченко Е.А. Адаптивность новых подвоев яблони серии СТ к стрессам летнего периода вегетации. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2023; 83: 21–31. https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-5-83-21-31
11. Савельева Н.Н., Юшков А.Н., Земисов А.С. Действие засухи на сорта яблони с полигенной и моногенной устойчивостью к парше. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021; 79: 38–46. EDN LFNPXF
12. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Шестакова В.В., Караваева А.В., Ульяновская Е.В. Адаптационная устойчивость яблони к гидротермическим условиям зимнего и летнего периодов. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2017; 45: 33–48. EDN YNDGMV
13. Ненько Н.И., Сергеева Н.Н., Киселева Г.К., Сергеев Ю.И., Яблонская Е.К., Якуба Ю.Ф. Динамика содержания пролина, пигментов и фракционный состав воды в листьях яблони (*Malus domestica* Borkh.) при температурном и водном стрессе и приемы снижения его последствий. *Сельскохозяйственная биология*. 2018; 53(3): 598–604. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.3.598rus
14. Меншутина Т.В., Костенко М.Г., Попова Е.В. Оценка продуктивности и биохимического состава плодов перспективных сортов яблони при выращивании в аридной зоне. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 183–187. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-183-187
15. Резвякова С.В. Успехи селекции в создании иммунных к парше и зимостойких сортов яблони. *Аграрная наука*. 2019; (S3): 39–43. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-39-43
16. Бузетти К.Д., Иванов М.В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека. *Аграрная наука*. 2020; (5): 80–84. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84
17. Волобуева Н.В., Резвякова С.В., Левшаков Л.В. Значение листовых подкормок в формировании качества и урожайности плодов яблони. *Вестник аграрной науки*. 2024; (3): 3–11. https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.3.3

REFERENCES

1. Sedov E.N., Yanchuk T.V., Korneyeva S.A. The best zoned apple cultivars of VNIISPK breeding for different regions of Russia. *Agrarian science*. 2020; (10): 92–94 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-92-94
2. Sedov E.N., Yanchuk T.V., Korneyeva S.A. Brief results and prospects of apple breeding at VNIISPK. *Agrarian science*. 2021; (10): 90–92 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-90-93
3. Podgaetskiy M.A., Evdokimenko S.N. Evaluation of raspberry drought tolerance. *Horticulture and viticulture*. 2024; (2): 13–21 (in Russian). https://doi.org/10.31676/0235-2591-2024-2-13-21
4. Redin D.V. Study of water exchange and drought resistance of apple tree in the Middle Volga region. *Dagestan GAU Proceedings*. 2024; (4): 87–94 (in Russian). EDN GGWIDI
5. Nen'ko N.I.1, Ul'yanovskaya E.V., Kiseleva G.K. The apple tree resistance to the extreme temperatures and scarce water supply. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2018; (1): 27–30 (in Russian). EDN NRSFGP
6. Kochubey A.A., Zaremuk R.Sh. Study of drought tolerance of hybrid material of home plum in southern Russia. *Agrarian science*. 2020; (6): 94–98 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-94-98
7. Sarimsakov M.M., Ibragimova H.R. Technical irrigation elements of intensive apple orchards in Uzbekistan. *Agrarian science*. 2018; (6): 66–67 (in Russian). EDN XUJRAL
8. Suleimenova N., Togisbayeva A., Makhamedova B. The influence of abiotic ecosystem factors on growth and development fruit crops, apple trees under climate change. *Research, results*. 2024; (2): 63–74 (in Russian). https://doi.org/10.37884/2-2024/07
9. Sedov E.N., Krasova N.G., Korneyeva S.A., Yanchuk T.V., Galasheva A.M. Apple cultivars of common selection as initial forms when creating competitive adaptive cultivars. *Agrarian science*. 2022; (1): 106–109 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-106-109
10. Efimova I.L., Radchenko E.A. Adaptability of new ST series apple rootstocks to stress of the summer vegetation period. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2023; 83: 21–31 (in Russian). https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-5-83-21-31
11. Savelyeva N.N., Yushkov A.N., Zemisov A.S. Effects of drought stress on apple cultivars with polygenic and monogenic scab resistance. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2021; 79: 38–46 (in Russian). EDN LFNPXF
12. Nenko N., Kiseleva G., Shestakova V., Karavaeva A., Ulyanovskaya E. Adaptive resistance of apple varieties to hydrotermal conditions of winter and summer. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2017; 45: 33–48 (in Russian). EDN YNDGMV
13. Nenko N.I., Sergeeva N.N., Kiseleva G.K., Sergeev Yu.I., Yablonskaya E.K., Yakuba Yu.F. Dynamic of proline, pigment contents, water fractions in apple (*Malus domestica* Borkh.) foliage under temperature drought stress and protection measures. *Agricultural Biology*. 2018; 53(3): 598–604. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.3.598eng
14. Menshutina T.V., Kostenko M.G., Popova E.V. Evaluation of productivity and biochemical composition of fruits of promising apple varieties, grown in the arid zone. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 183–187 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-183-187
15. Rezvyakova S.V. The success of selection in creating the immune to scab and winter-hardy apple varieties. *Agrarian science*. 2019; (S3): 39–43 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-39-43
16. Buzetti K.D., Ivanov M.V. The impact of mineral and organic fertilizers on the ecosystem, the quality of agricultural products and human health. *Agrarian science*. 2020; (5): 80–84 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84
17. Volobueva N.V., Rezvyakova S.V., Levshakov L.V. The value of leaf- feeding dressing in the formation of quality and yield of apple fruits. *Bulletin of agrarian science*. 2024; (3): 3–11 (in Russian). https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.3.3

18 Иваненко Е.Н., Дроник А.А. Влияние некорневого питания на урожайность и товарные качества плодов яблони в аридных условиях. *Нива Поволжья*. 2018; (2): 94–98. EDN USJSVW

19. Айсанов Т.С., Романенко Е.С., Селиванова М.В., Есаулко Н.А., Горяников Ю.В. Влияние внекорневой подкормки кальцийсодержащими удобрениями на продуктивность сортов яблони в условиях зоны неустойчивого увлажнения. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2022; 59(3): 28–34. https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_3_28

18. Ivanenko Ye.N., Dronik A.A. Influence of foliar nutrition on yield and commercial qualities of apple-trees in arid conditions. *Niva Povolzhya*. 2018; (2): 94–98 (in Russian). EDN USJSVW

19. Aisanov T.S., Romanenko E.S., Selivanova M.V., Esaulko N.A., Goryanikov Yu.V. Influence of foliar fertilization with calcium-containing fertilizers on the productivity of apple varieties in the conditions of unstable moistening zone. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2022; 59(3): 28–34 (in Russian). https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_3_28

ОБ АВТОРАХ

Светлана Викторовна Резвякова
доктор сельскохозяйственных наук, доцент
lana8545@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-7681-4516

Мария Викторовна Евдакова
кандидат сельскохозяйственных наук
maria.evdakova@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-5892-1315

Елена Владимировна Митина
кандидат сельскохозяйственных наук
amigo1870@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-8863-8102

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,
ул. им. Генерала Родина 69, Орел, 302019, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Svetlana Viktorovna Rezvyakova
Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
lana8545@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-7681-4516

Maria Viktorovna Evdakova
Candidate in Agricultural Sciences
maria.evdakova@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-5892-1315

Elena Vladimirovna Mitina
Candidate in Agricultural Sciences,
amigo1870@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-8863-8102

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin,
69 General Rodin st., Orel, 302019, 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

Реклама

УДК 633.15:631.8

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-139-146

Е.С. Пестерева[1, 2] ✉

С.А. Павлова[1]

Г.Е. Захарова[1]

Н.Н. Жиркова[1]

А.И. Винокурова[1]

[1]Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова — обособленное подразделение ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия

[2]Октемский филиал ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», с. Октемцы, Хангаласский улус, Республика Саха (Якутия), Россия

✉ *Lena79pestereva@mail.ru*

Поступила в редакцию: 09.06.2026

Одобрена после рецензирования: 11.08.2026

Принята к публикации: 25.08.2026

© Пестерева Е.С., Павлова С.А., Захарова Г.Е., Жиркова Н.Н., Винокурова А.И.

Продуктивность кукурузы на зеленую массу при применении минеральных удобрений и биопрепаратов в условиях криолитозоны Якутии

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В условиях Республики Саха (Якутия) дефицит высокобелковых кормов лимитирует продуктивность животноводства. Возделывание кукурузы на мерзлотных почвах требует разработки эффективных агроприемов, включающих комбинированное применение минеральных удобрений и биопрепаратов.

Методы. Исследования проводились в 2024-2025 гг. на мерзлотной дерново-луговой почве в Якутском НИИСХ. Схема опыта включала 9 вариантов: контроль, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$, биопрепараты «Фито Норд-Бакт» и «Мамонтенок» (штаммы *Bacillus subtilis*), а также их сочетания с удобрениями на фоне междурядий 30 и 60 см. Определяли урожайность, химический состав (инфракрасный анализатор Spectra Star 2200) и экономическую эффективность.

Результаты. Наибольшая урожайность зеленой массы кукурузы (38,9 т/га при междурядье 30 см и 38,6 т/га при 60 см) получена при совместном внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ и биопрепарата «Мамонтенок». Содержание сырого протеина достигало 22,1–22,4%, что существенно выше контроля. Применение биопрепаратов улучшило биометрические показатели и устойчивость растений к стрессовым погодным условиям (ГТК 0,3–0,7). Экономическая оценка показала рентабельность до 90% (вариант $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок», 60 см) с условно чистым доходом 36 586 руб./га. Широкорядный посев (60 см) обеспечил лучший доступ растений к свету и теплу. Комплексное применение $N_{90}P_{90}K_{90}$ и биопрепарата «Мамонтенок» является экономически обоснованным и высокорентабельным приемом возделывания кукурузы в условиях криолитозоны Якутии.

Ключевые слова: кукуруза, зеленый корм, урожайность, химический состав, питательная ценность, биопрепараты, мерзлотные почвы

Для цитирования: Пестерева Е.С., Павлова С.А., Захарова Г.Е., Жиркова Н.Н., Винокурова А.И. Продуктивность кукурузы на зеленую массу при применении минеральных удобрений и биопрепаратов в условиях криолитозоны Якутии. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 139–146.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-139-146

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-139-146

Elena S. Pestereva[1, 2] ✉

Sachayana A. Pavlova[1]

Galina E. Zakharova[1]

Natalya N. Zhirkova[1]

Anastasiya I. Vinokurova[1]

[1]M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Yakutsk, Russia

[2]Oktemsky branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Oktemtsy, Khangalassky District, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

✉ *Lena79pestereva@mail.ru*

Received by the editorial office: 09.06.2026

Accepted in revised: 11.08.2026

Accepted for publication: 25.08.2026

© Pestereva E.S., Pavlova S.A., Zakharova G.E., Zhirkova N.N., Vinokurova A.I.

Productivity of green mass maize when using mineral fertilizers and biological products in the cryolithozone of Yakutia

ABSTRACT

Relevance. In the conditions of the Republic of Sakha (Yakutia), the deficit of high-protein feeds limits livestock productivity. The cultivation of maize on permafrost-affected soils requires the development of effective agronomic practices, including the combined use of mineral fertilizers and biological preparations.

Methods. The research was conducted in 2024-2025 on permafrost-affected sod-meadow soil at the Yakutsk Research Institute of Agriculture. The experimental scheme included 9 treatments: control, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$, biological preparations «Fito Nord — Bakt» and «Mamontenok» (*Bacillus subtilis* strains), as well as their combinations with fertilizers against a background of row spacings of 30 and 60 cm. Yield, chemical composition (using an infrared analyzer Spectra Star 2200), and economic efficiency were determined.

Results. The highest green mass yield of maize (38.9 t/ha at 30 cm row spacing and 38.6 t/ha at 60 cm row spacing) was obtained with the combined application of $N_{90}P_{90}K_{90}$ and the biological preparation «Mamontenok». The crude protein content reached 22.1–22.4%, which is significantly higher than the control. The use of biological preparations improved biometric parameters and plant resistance to stressful weather conditions (en dash: HTC 0.3–0.7). Economic assessment showed a profitability of up to 90% ($N_{90}P_{90}K_{90}$ + + «Mamontenok» treatment, 60 cm row spacing) with a conditional net income of 36 586 rubles/ha. Wide-row sowing (60 cm) provided better plant access to light and heat. The integrated application of $N_{90}P_{90}K_{90}$ and the biological preparation «Mamontenok» is an economically sound and highly profitable technique for maize cultivation in the permafrost zone of Yakutia.

Key words: maize, green feed, yield, chemical composition, nutritional value, biopreparations, frozen soils

For citation: Pestereva E.S., Pavlova S.A., Zakharova G.E., Zhirkova N.N., Vinokurova A.I. Productivity of green mass corn when using mineral fertilizers and biological products in the cryolithozone of Yakutia. *Agrarian science.* 2026; 410(09): 139–146 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-139-146

Введение/Introduction

Животноводство в Республике Саха (Якутия) было и остается главной отраслью сельского хозяйства. Обеспечение высококачественными кормами является одной из главных задач в кормопроизводстве, особенно в условиях северных регионов, таких как Республика Саха (Якутия). Одной из основных проблем, с которыми сталкивается сельское хозяйство в Якутии, является дефицит высокобелковых кормов, что подчеркивает необходимость изучения и внедрения новых кормовых культур [1–9].

Кукуруза (*Zea mays L.*) занимает важное место среди однолетних кормовых культур благодаря своей высокой урожайности и питательной ценности [10]. Однако возделывание кукурузы на мерзлотных и малоплодородных почвах требует разработки специализированных технологий для повышения ее урожайности. Комбинированное применение минеральных удобрений и биопрепаратов является перспективным подходом для улучшения роста растений и для увеличения их устойчивости к неблагоприятным условиям, что способствует повышению урожайности [11, 12]. Выбор биопрепаратов «Мамонтенок» и «Фито Норд-Бакт» обусловлен их происхождением: они созданы на основе штаммов *Bacillus subtilis*, выделенных из мерзлотных почв Якутии и палеомикробиоты ископаемых животных, сохранявшихся в вечной мерзлоте, что обеспечивает их высокую метаболическую активность при низких положительных температурах. Предварительные опыты показали способность этих штаммов фиксировать атмосферный азот, мобилизовать труднодоступные фосфаты и подавлять фитопатогенную микрофлору, что делает их перспективными для использования в условиях криолитозоны[1].

В условиях глобальных климатических изменений и увеличения потребностей в продовольствии, обеспечение животноводства качественными кормами становится особенно актуальным. Уникальные климатические условия Республики Саха (Якутии) требуют разработки эффективных методов для производства кормовых культур. Кукуруза, имея высокую урожайность и питательную ценность, является одной из наиболее перспективных однолетних культур. Однако в условиях сурового климата Якутии, с коротким вегетационным периодом и низкими температурами, ее возделывание требует внедрения специализированных агрономических практик. Таким образом, научная проблема заключается в отсутствии экспериментальных данных о совместном влиянии различных доз минеральных удобрений и биопрепаратов на продуктивность и качество кукурузы в мерзлотной зоне Центральной Якутии, что не позволяет дать научно обоснованные рекомендации производству. Гипотеза исследования: комплексное применение полного минерального удобрения ($N_{60}P_{60}K_{60}$ или $N_{90}P_{90}K_{90}$) и биопрепаратов «Мамонтенок» и «Фито Норд-Бакт» обеспечит достоверное увеличение урожайности зеленой массы кукурузы (не менее чем на 15%) и повысит содержание сырого протеина в сухом веществе до уровня, удовлетворяющего зоотехническим требованиям [12].

Целью научного исследования является изучение продуктивности кукурузы на зеленую массу при применении минеральных удобрений и биопрепаратов в условиях криолитозоны Якутии.

Задачи исследования:

1. Изучить влияние различных доз минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$) на рост и развитие кукурузы с разными междурядьями (30 см и 60 см);

2. Оценить урожайность кукурузы на зеленую массу при комбинированном использовании минеральных удобрений и биопрепаратов («Мамонтенок» и «Фито Норд-Бакт»);

3. Проанализировать химический состав и питательную ценность зеленой массы кукурузы в зависимости от внесения биопрепаратов и минеральных удобрений;

4. Рассчитать экономическую эффективность возделывания кукурузы с применением различных доз минеральных удобрений и биопрепаратов.

Материал и методы исследования / Material and methods

Экспериментальные работы проводились в научном стационаре Якутского НИИСХ в с. Ой Хангаласского района в 2024–2025 гг. Мероприятия по возделыванию кормовых культур были реализованы и выполнены в соответствии с государственным заданием FWRS 2024-0026 и системой ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) за период с 2021 по 2025 годы[2]. Наблюдения, учеты, оценка экономической эффективности проводились в соответствии с методическими рекомендациями ВНИИ кормов[3, 4]. Определение химического состава кормов (сырая клетчатка, сырой жир, сырая зола и др.) выполнены в

[1] Биопрепараты из штаммов бактерий Bacillus subtilis, выделенных из мерзлотных почв Якутии : Методическое пособие / М.П. Неустроев, Н.П. Тарабукина, М.П. Скрябина, А.М. Степанова; Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова; Научно-производственный центр «Хоту-Бакт». — Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская академическая книга», 2022. — 24 с. — ISBN 978-5-6047255-6-6. – EDN XRLYHF.

[2] Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021–2025 годы: методические пособия / Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия), Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М. Г. Сафронова. — Белгород : Сангалова К. Ю. 2021; 592. — ISBN 978-5-6046091-8-7. — EDN NDGRUY.

[3] Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства / Б.П. Михайличенко, А. А. Кутузова, Ю. К. Новоселов [*и др.*]. — Москва: Типография Россельхозакадемии, 1995. — 174 с. — EDN RWHPJJ.

[4] Новоселов, Ю. К. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю.К. Новоселов, В.Н. Киреев, Г.П. Кутузов *[и др.]*. — Москва: типография Россельхозакадемии. 1997; 156. — EDN WNBLWF.

лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимических анализов Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства на инфракрасном анализаторе Spectra Star 2200 (Unity Scientific, США). Почва участка представляет собой мерзлотную дерново-луговую с содержанием гумуса — 3,1%, общего азота — 0,36%, подвижного фосфора — 162 мг/кг, обменного калия — 254 мг/кг, с реакцией среды, близкой к нейтральной (pH 7,5).

Схема опыта:

1. Контроль — без применения биопрепаратов и минеральных удобрений;
2. Кукуруза + $N_{60}P_{60}K_{60}$;
3. Кукуруза +$N_{90}P_{90}K_{90}$;
4. Кукуруза + «Фито Норд-Бакт»;
5. Кукуруза + «Мамонтенок»;
6. Кукуруза +$N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Фито Норд-Бакт»;
7. Кукуруза +$N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Мамонтенок»;
8. Кукуруза +$N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Фито Норд-Бакт»;
9. Кукуруза +$N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок».

Объект исследования кукуруза гибрид Катерина — раннеспелый трехлинейный гибрид кукурузы (F1) с показателем ФАО 170. Он был включен в Госреестр в 1999 году и допущен к выращиванию в Центрально-Черноземном, Средневолжском, Уральском, Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском регионах. В опыте 9 вариантов, повторность 3-х кратная. Способ посева рядовой с узкорядным 30 и широкорядным 60 см междурядьем. Посев проведен 1 июня. Размещение делянок рандомизированное. Площадь делянок — 50 м^2. Площадь учетных делянок — 30 кв. м. Технологические мероприятия возделывания кукурузы проводились по системе ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021–2025 гг.[2]

Опыты проводились при орошении дождевальной установкой КИ-5 (ФГНУ ВНИИ «Радуга», Россия) с нормой 300 м^3/га, три раза в зависимости от метеоусловий вегетационного периода. Внесение минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$) осуществлялось при предпосевной обработке почвы.

Обработку семян и опрыскивание провели в фазе 3–4 листьев кукурузы биопрепаратами с нормой 84 мл на 10 л воды:

— препарат «Фито Норд-Бакт» представляет собой суспензию, состоящую из равного сочетания штаммов бактерий *Bacillus subtilis* ТНП — 3 и *Bacillus subtilis* ТНП — 5, выделенных из мерзлотных почв; содержание *Bacillus subtilis* — 5 × 10^9 КОЕ/мл;

— биопрепарат «Мамонтенок» представляет собой суспензию, состоящую из равного сочетания штаммов бактерий *Bacillus subtilis* Колыма — 7/2к и *Bacillus subtilis* Оймякон — 6/1, выделенных из палеомикробиоты; содержание *Bacillus subtilis* — 5 × 10^9 КОЕ/мл. Штамм Оймякон — 6/1 получен в 2008 г. из биоматериала «Оймяконского мамонтенка», сохранившегося в вечной мерзлоте в Республике Саха (Якутия); производитель — ООО «НПЦ» «ХОТУ БАКТ», Россия [14-17].

Статистическая обработка данных проводилась с применением дисперсионного анализа по методике Б.А. Доспехова[5]. Метеорологические условия приведены по данным Покровской метеостанции[6]. Анализ тепло- и влагообеспеченности проведен для периода активной вегетации (июнь-август) согласно методике Г.Т. Селянинова. ГТК рассчитывался по формуле:

$$ГТК = \frac{\Sigma R}{0,1 \times \Sigma T_{>10^\circ}},$$

где: ΣR — сумма осадков за месяцы со средней температурой выше 10 °С, мм; $\Sigma T_{>10^\circ}$ — сумма активных температур (сумма средних месячных температур > 10 °С, умноженная на число дней в месяце).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Вегетационный период 2024 года отмечался недостатком продуктивной влаги и низкими температурами, что оказало существенное влияние на рост кукурузы. По данным Покровской метеостанции, среднесуточная температура в мае составила +8,9 °С, максимальная — +30,2 °С, а осадки составили всего 10,6 мм, что на 8,4 мм ниже среднемноголетних значений. 2025 год по обеспеченности влагой и теплом характеризовался как благоприятный для роста и развития полевых культур по сравнению с предыдущим годом. Гидротермический коэффициент был равен 0,7. В июне температура воздуха составила +16,3 °С, уровень осадков достиг 7,1 мм, что ниже многолетних норм. В июле среднемесячная температура повысилась до +20,7 °С, но осадки составили лишь 10,2 мм (табл. 1).

Эти неблагоприятные погодные условия создали стрессовую ситуацию для растений, что

Таблица 1. **Тепло- и влагообеспеченность вегетационных периодов 2024–2025 гг.**
Table 1. **Heat and moisture availability during the growing seasons of 2024–2025**

Год	Месяц	Средняя температура, °С	Осадки, мм	$\Sigma T_{>10\,°C}$ за месяц	$\Sigma T_{>10\,°C}$ (июнь – август)	ΣR (июнь – август)	ГТК
2024	июнь	16,3	7,1	489,0	1583,3	41,1	0,3
	июль	20,7	10,2	641,7			
	август	14,6	23,8	452,6			
2025	июнь	14,9	43,2	447,0	1516,5	103,8	0,7
	июль	19,3	38,3	598,3			
	август	15,2	22,3	471,2			

[5] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. — М.: Колос. 1985; 347.
[6] https://ykuthydromet.ru/

подчеркивает необходимость оптимизации агрономических методов для повышения их устойчивости и продуктивности. Корректировка технологий возделывания кукурузы в таких условиях становится важным аспектом успешного кормопроизводства в Якутии.

Сравнивая междурядья 30 см и 60 см, было установлено, что ширина междурядий не повлияло на рост и развитие кукурузы. В контрольном варианте с междурядьем 30 см высота растений была следующей: всходы — 3 см, кущение — 17 см, выметывания метелки — 124 см.

При внесении минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) высота растений увеличилась до 6 см на этапе всходов и до 134 см на стадии выметывания метелки. С применением ($N_{90}P_{90}K_{90}$) показатели составили 5 см и 144 см соответственно.

Наибольшее увеличение высоты было зафиксировано при использовании биопрепарата «Мамонтенок» в сочетании с удобрениями, что обеспечивало 5 см во всходах и 151 см в фазе выметывания метелки. В сочетании с удобрениями ($N_{90}P_{90}K_{90}$) высота кукурузы доходило с 6 см до 155 см. Аналогичные результаты были получены при посеве с междурядьем 60 см. Контрольный вариант достигал высоты по фазам: всходы — 3 см, выметывания метелки — 122 см. Внесение удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) увеличивало высоту до 5 см на ранних стадиях и до 146 см на стадии выметывания метелки, в то время как при ($N_{90}P_{90}K_{90}$) показатели достигали 7 см и 149 см.

Использование биопрепарата «Мамонтенок» значительно повышал рост растения. В фазе всхода высота кукурузы составила до 7 см и 149 см в фазе выметывания метелки. В сочетании с удобрениями высота составила 8 см в фазе всходов и до 156 см в стадии выметывания метелки с использованием $N_{90}P_{90}K_{90}$. В контрольных вариантах, без применения удобрений и биопрепаратов, высота растений оставалась наименьшей (122–124 см). Исследование подтвердило, что совместное применение биопрепаратов с минеральными удобрениями положительно сказывается на биометрических показателях кукурузы и способствует увеличению ее урожайности.

Использование биопрепаратов «Фито Норд-Бакт» и «Мамонтенок», обеспечивает более равномерное распределение питательных веществ в растениях, что улучшает их продуктивность и устойчивость к неблагоприятным условиям. К основным механизмам полезного действия микроорганизмов на растения относятся: фиксация атмосферного азота (улучшение азотного питания), оптимизация фосфорного питания растений, стимуляция роста и развития растений (более быстрое развитие растений и созревание урожая), подавление развития фитопатогенов (контроль за развитием болезней и снижение пораженности ими растений, улучшение хранения продукции), улучшение питания растений (повышение коэффициентов использования питательных элементов из удобрений и почвы), повышение устойчивости растений к стрессовым условиям (возможность повышения продуктивности растений на фоне водного дефицита, неблагоприятных температур, повышенной кислотности, засоления или загрязнения почвы) [17, 18]. В контрольных вариантах, где обработки не проводились, наблюдалось неравномерное распределение питательных веществ, что приводило к снижению общей продуктивности и эффективности растений.

Урожайность является ключевым показателем сельскохозяйственной ценности растений. Для достижения высоких показателей необходимо обеспечить растения достаточным количеством влаги и питательных веществ в течение вегетационного периода. Суммарное водопотребление растений зависит от различных факторов, включая почвенно-климатические условия, продолжительность вегетационного периода и нормы поливов [19, 20].

Исследования проводили при двух ширинах междурядий — 30 и 60 см. Установлено, что оба фактора — дозы минеральных удобрений и применение биопрепаратов — существенно повышали урожайность по сравнению с контролем независимо от ширины междурядья (табл. 2, 3).

При междурядье 30 см контрольный вариант обеспечил сбор зеленой массы 20,1 т/га. Внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ увеличило урожайность до 30,1 т/га, а $N_{90}P_{90}K_{90}$ — до 34,0 т/га ($НСР_{05}$ = 4,1 т/га). Обработка семян биопрепаратами без удобрений дала прибавку: «Фито Норд-Бакт» — 36,6 т/га, «Мамонтенок» — 37,4 т/га. Совместное применение удобрений и биопрепаратов позволило достичь наибольших значений: вариант $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок» — 38,9 т/га, вариант $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Фито Норд-Бакт» — 38,7 т/га разница между ними статистически несущественна, однако оба достоверно превосходят контроль.

При ширине междурядий 60 см контрольная урожайность составила 19,8 т/га. Внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$ повысило ее до 29,2 и 29,8 т/га соответственно. Биопрепараты на естественном фоне удобрений сформировали 31,5 т/га («Фито Норд-Бакт») и 33,5 т/га («Мамонтенок»), что ниже, чем при междурядье 30 см. Максимальная урожайность при 60 см получена в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + + «Мамонтенок» — 38,6 т/га ($НСР_{05}$ = 3,2 т/га).

Содержание сырого протеина достоверно возрастало при использовании биопрепаратов и повышенных доз удобрений. Максимальные значения 22,1–22,4% (на абсолютно сухое вещество) зафиксированы в вариантах $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок» при обоих междурядьях, что на 5,7–5,8 (в абсолютном выражении) превышает контроль (16,3–16,7%) при $НСР_{05}$ = 0,42%. Содержание сырой клетчатки при внесении биопрепаратов на фоне междурядья 30 см увеличилось с 34,4% (контроль) до 35,0–35,5%, прибавка статистически значима. Максимальная концентрация сырого жира (3,0%) отмечена в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$

Таблица 2. **Урожайность, химический состав и питательная ценность кукурузы с минеральными удобрениями и биопрепаратами с междурядьем 30 см, (среднее за 2024–2025 гг.)**

Table 2. **Yield, chemical composition, and nutritional value of maize with mineral fertilizers and biological preparations at a row spacing of 30 cm, (average for 2024–2025)**

№	Вариант	Урожайность зеленой массы, т/га	Абсолютно-сухое вещество, %					Кормовые единицы	Обменной энергии, МДж	Содержание переваримого протеина в 1 кг, г
			Сырой протеин	Сырой жир	Сырая клетчатка	Сырая зола	БЭВ			
1	Контроль	20,1	16,3	2,4	34,4	8,5	38,4	0,63	8,9	133,8
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$	30,1	17,3	3,0	33,5	9,4	36,8	0,64	9,0	141,1
3	$N_{90}P_{90}K_{90}$	34,0	18,0	2,3	34,4	9,2	36,1	0,65	9,0	143,6
4	«Фито Норд-Бакт»	36,6	19,4	2,4	35,0	7,7	35,5	0,65	9,0	154,1
5	«Мамонтенок»	37,4	20,4	2,4	35,5	8,3	33,4	0,64	9,0	157,6
6	$N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Фито Норд-Бакт»	37,5	21,7	2,5	33,8	7,9	34,1	0,67	9,1	163,8
7	$N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Мамонтенок»	36,9	20,2	2,4	33,5	7,8	36,1	0,63	8,9	165,2
8	$N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Фито Норд-Бакт»	38,7	20,6	2,3	34,2	8,0	34,9	0,69	9,3	171,5
9	$N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок»	38,9	22,1	2,5	34,5	9,2	31,7	0,69	9,3	176,5
	$НСР_{05}$	4,1	0,42	0,17	0,42	0,36	0,73	0,02	0,21	4,2
	M	34,5	20,0	2,5	34,3	8,4	34,8	0,64	8,97	153,7
	± SD	6,0	1,67	0,22	0,71	0,71	1,69	0,016	0,13	17,7
	CV, %	17,5	8,4	8,8	2,1	8,4	4,8	2,5	1,5	11,5

Таблица 3. **Урожайность и питательная ценность кукурузы с минеральными удобрениями и биопрепаратами с междурядьем 60 см, (среднее за 2024–2025 гг.)**

Table 3. **Yield, chemical composition, and nutritional value of maize with mineral fertilizers and biological preparations at a row spacing of 60 cm, (average for 2024–2025)**

№	Вариант	Урожайность зеленой массы, т/га	Абсолютно-сухое вещество, %					Кормовые единицы	Обменной энергии, МДж	Содержание переваримого протеина в 1 кг, г
			Сырой протеин	Сырой жир	Сырая клетчатка	Сырая зола	БЭВ			
1	Контроль	19,8	16,7	2,5	33,4	8,3	39,1	0,61	8,7	124,3
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$	29,2	18,4	2,3	34,3	9,0	36,0	0,63	8,9	131,9
3	$N_{90}P_{90}K_{90}$	29,8	18,3	2,3	33,7	9,2	36,5	0,65	9,0	141,4
4	«Фито Норд-Бакт»	31,5	19,6	2,4	34,7	8,0	35,3	0,65	9,0	151,6
5	Мамонтенок	33,5	20,9	2,4	35,5	9,3	31,9	0,64	8,9	157,5
6	$N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Фито Норд-Бакт»	34,8	21,1	2,6	34,4	8,6	33,3	0,64	9,0	164,3
7	$N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Мамонтенок»	36,7	20,2	2,2	34,4	8,7	34,5	0,64	9,0	166,4
8	$N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Фито Норд-Бакт»	36,9	21,2	2,3	34,8	8,0	33,7	0,64	9,0	171,1
9	$N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок»	38,6	22,4	2,4	35,3	8,4	31,5	0,67	9,2	174,4
	$НСР_{05}$	3,2	0,42	0,17	0,42	0,36	0,73	0,02	0,21	4,2
	M	32,3	19,9	2,4	34,5	8,6	34,6	0,64	8,97	153,7
	± SD	6,0	1,8	0,12	0,7	0,5	2,4	0,016	0,13	17,7
	CV, %	18,5	9,0	5,1	2,0	5,6	6,9	2,5	1,5	11,5

(междурядье 30 см), что на 0,6 (в абсолютном выражении) выше контроля (2,4%); различия достоверны ($НСР_{05}$ = 0,17 %).

Содержание сырой золы варьировало в пределах 7,7–9,4%, БЭВ — от 31,5 до 39,0%, что укладывается в зоотехнические нормы для качественного кукурузного силоса.

Оценка питательной ценности показала, что максимальная концентрация обменной энергии (9,3 МДж/кг) и переваримого протеина (176,5 г/кг) достигнута в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок» при междурядье 30 см. Выход кормовых единиц с гектара при этом составил 0,69 к.е./кг, что в сочетании с высокой урожайностью обеспечивает наибольший сбор питательных веществ с единицы площади.

Сравнительный анализ двух способов посева показывает, что при благоприятных условиях увлажнения междурядье 30 см реализует потенциал более высокой густоты стояния и формирует большую биомассу в вариантах без удобрений или с умеренными дозами минеральных удобрений. Вариант с внесением $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок» с междурядьем 60 см немного уступает по урожайности зеленой массы на 0,3 т/га междурядью 30 см.

Результаты проведенного анализа показали целесообразность применения комплексного подхода с использованием биопрепаратов «Фито Норд-Бакт» и «Мамонтенок». Данные препараты не только увеличивают биомассу растений, но и повышают ее качественные характеристики. Механизм их действия основан на оптимизации почвенного микробиома и стимуляции развития корневой системы, что приводит к усиленному поглощению растениями как органических, так и минеральных соединений.

Анализ экономической оценки возделывания кукурузы в условиях криолитозоны выявила прямую зависимость рентабельности от уровня интенсификации и погодных факторов. Погодные условия 2024–2025 гг. были неблагоприятные,

уровень ГТК составило лишь 0,3–0,7 что создало стрессовую ситуацию для растений (табл. 1).

Анализ экономических показателей (табл. 4) показал, что все варианты с применением минеральных удобрений и биопрепаратов были рентабельными, тогда как контрольные варианты отличались минимальной отдачей. При ширине междурядий 30 см в контроле условно чистый доход составил 1533 руб./га при рентабельности 4%. Внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ увеличило условно чистый доход до 19 712 руб./га (рентабельность 49%), а $N_{90}P_{90}K_{90}$ — до 26 636 руб./га (64%). Использование биопрепаратов без удобрений дало существенно более высокую окупаемость: «Фито Норд-Бакт» — 33 966 руб./га (87%), «Мамонтенок» — 35 566 руб./га (91%), что является максимальной рентабельностью среди всех вариантов. Среди комбинированных вариантов наибольший условно чистый доход получен при совместном внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок» — 35 936 руб./га (86%), при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Фито Норд-Бакт» — 35 536 руб./га (85%). Варианты $N_{60}P_{60}K_{60}$ + биопрепараты дали несколько меньшие показатели: 34 012 руб./га (83%) и 32 812 руб./га (80%) соответственно.

При ширине междурядий 60 см контроль обеспечил условно чистый доход 2116 руб./га (6%). Внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$ повысило условно чистый доход до 19 162 руб./га (49%) и 19 486 руб./га (49%) соответственно, что ниже аналогичных вариантов при 30 см. Биопрепараты без удобрений обеспечили 25 016 руб./га (66%) для «Фито Норд-Бакт» и 29 016 руб./га (76%) для «Мамонтенок». Максимальный условно чистый доход при 60 см получен в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок» — 36 586 руб./га (90%), что на 650 руб./га выше, чем при 30 см, при рентабельности 90% против 86%. Комбинация $N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Мамонтенок» дала 33 662 руб./га (85%), $N_{60}P_{60}K_{60}$ + «Фито Норд-Бакт» — 29 862 руб./га (75%), $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Фито Норд-Бакт» — 33 186 руб./га (82%).

Сравнение двух схем посева показало, что средняя рентабельность при междурядье 30 см составила 69,9%, при 60 см — 64,2%, однако статистически значимого влияния ширины междурядья на рентабельность не выявлено ($p = 0,64$).

При этом максимальный условно чистый доход (36 586 руб./га) и высокая рентабельность (90%) отмечены в варианте с междурядьем 60 см при $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Мамонтенок».

Корреляционный анализ по средним значениям выявил сильную положительную связь между приведенными затратами и рентабельностью ($r = 0,74$; $p < 0,01$), то есть интенсификация технологии закономерно повышает окупаемость. Однако эта связь нелинейна: максимальная рентабельность (91%) достигнута в варианте с биопрепаратом без минеральных удобрений, где затраты ниже, чем в комбинациях с NPK. Множественный регрессионный анализ с фиктивными переменными показал, что наиболее значимым

Таблица 4. **Экономическая оценка эффективности возделывания кукурузы с минеральными удобрениями и биопрепаратами с междурядьями 30 и 60 см, (среднее за 2024–2025 гг.)**

Table 4. **Economic assessment of the efficiency of maize cultivation with mineral fertilizers and biological preparations at 30 and 60 cm row spacings, (average for 2024–2025)**

№	Видовой состав	Продуктивность с 1 га		Стоимость продукции, руб./га	Приведенные затраты, руб./га	Условно чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
		корм. ед.	сырого протеина, кг/га				
с междурядьем 30 см							
1	Контроль	1166	3725	40267	38734	1533	4
2	NPK_{60}	1235	5809	60200	40488	19712	49
3	NPK_{90}	1274	6664	68000	41364	26636	64
4	«Фито Норд-Бакт»	1352	7613	73200	39234	33966	87
5	«Мамонтенок»	1357	7929	74800	39234	35566	91
6	NPK_{60} + «Фито Норд-Бакт»	1467	8213	75000	40988	34012	83
7	NPK_{60} + «Мамонтенок»	1392	8155	73800	40988	32812	80
8	NPK_{90} + «Фито Норд-Бакт»	1573	8824	77400	41864	35536	85
9	NPK_{90} + «Мамонтенок»	1608	9064	77800	41864	35936	86
с междурядьем 60 см							
1	Контроль	1061	3445	39600	37484	2116	6
2	NPK_{60}	1153	5344	58400	39238	19162	49
3	NPK_{90}	1261	5781	59600	40114	19486	49
4	«Фито Норд- Бакт»	1333	6458	63000	37984	25016	66
5	«Мамонтенок»	1357	7102	67000	37984	29016	76
6	NPK_{60} + «Фито Норд- Бакт»	1408	7656	69600	39738	29862	75
7	NPK_{60} + «Мамонтенок»	1421	8147	73400	39738	33662	85
8	NPK_{90} + «Фито Норд-Бакт»	1453	8376	73800	40614	33186	82
9	NPK_{90} + «Мамонтенок»	1548	8917	77200	40614	36586	90

фактором является наличие биопрепарата ($\beta = 0,62$; $p < 0,001$), затем доза NPK ($\beta = 0,35$; $p = 0,002$), тогда как тип биопрепарата ($\beta = 0,08$; $p = 0,31$) и ширина междурядья ($\beta = 0,05$; $p = 0,64$) не оказали достоверного влияния.

В засушливом 2024 году (гидротермический коэффициент = 0,3) средняя рентабельность по всем вариантам составила 58%, в более влажном 2025 году (гидротермический коэффициент = 0,7) — 77%. Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил значимое влияние года ($F = 24,7$; $p < 0,001$), при этом взаимодействие «год × вариант» было незначимым ($p = 0,21$), то есть преимущество биопрепаратов и удобрений сохранялось в оба года. Регрессионная модель вида «рентабельность = $a + b_1 \cdot$(доза NPK) + $+ b_2 \cdot$(биопрепарат) + $b_3 \cdot$(гидротермический коэффициент)» показала, что коэффициент при гидротермическом коэффициенте составил 12,4 ($p < 0,05$): повышение гидротермического коэффициента на 0,1 приводит к росту рентабельности в среднем на 1,24% (в абсолютном выражении) при прочих равных условиях.

Таким образом, экономическая эффективность возделывания кукурузы на корм в условиях

криолитозоны в первую очередь определяется управляемыми агротехническими факторами — применением биопрепаратов и минеральных удобрений, а погодные условия (гидротермический коэффициент) выступают существенным, но неуправляемым лимитирующим фактором, который необходимо учитывать при планировании.

Экономически выгодными и рентабельными оказались посевы кукурузы с совместным внесением минеральных удобрений с дозой ($N_{90}P_{90}K_{90}$) и биопрепарата «Мамонтенок» при междурядьях 30 и 60 см.

Таким образом, использование биопрепарата «Мамонтенок» в сочетании с оптимальными дозами минеральных удобрений являлось экономически выгодным решением для повышения продуктивности и рентабельности возделывания кукурузы.

Выводы/Conclusion

1. Широкорядный посев (60 см) при совместном внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ и биопрепарата «Мамонтенок» обеспечил максимальную в опыте высоту растений кукурузы в фазе выметывания метелки — 156 см, что на 34 см (28%) превышает контроль (122 см) при этом получена наибольшая урожайность зеленой массы — 38,6 т/га, что выше контроля на 19,8 т/га.

2. Исследования показали, что максимальная урожайность кукурузы получена 38,9 т/га при посеве с междурядьем 30 см, внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ и обработке семян биопрепаратом «Мамонтенок». В этом варианте получены лучшие показатели качества корма. Содержание сырого протеин составило 22,1–22,4%, обменной энергии 9,3 МДж/кг, переваримого протеина 176,5 г/кг, с выходом кормовых единиц 0,69.

3. При возделывании кукурузы на зеленый корм в условиях Якутии, наиболее экономически выгодным является совместное внесение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}K_{90}$ с биопрепаратом «Мамонтенок». В среднем за годы исследований высокие показатели получены в варианте с дозой ($N_{90}P_{90}K_{90}$) и биопрепаратом «Мамонтенок» с междурядьем 60 см, где условно чистый доход составил 36 586 руб./га с рентабельностью 90%. При междурядьях 30 см высокий чистый доход получен в варианте с дозой удобрения ($N_{90}P_{90}K_{90}$) и биопрепаратом «Мамонтенок» — 35 936 руб./га с рентабельностью 86%.

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 во исполнение соглашения о представлении гранта № П-8-ЯНИИСХ от 16.09.2024 г. по реализации проекта «Биотехнология глубокой переработки уникального северного, экологически чистого, воспроизводимого биосырья» НОЦ «Север» территория устойчивого развития в рамках государственного задания FWRS 2024-0026

FUNDING

The study was carried out with financial support in accordance with the agreement on the submission of grant No. P-8- YSRIA dated 09/16/2024 for the implementation of the project «Biotechnology of deep processing of unique northern, environmentally friendly, reproducible bio-raw materials» of the North Research Center «Territory of sustainable development within the framework of the state assignment FWRS 2024-0026

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Винокурова Д.Е., Прохорова М.Н. Формирование кормовой базы как фактор устойчивого развития животноводства: на примере республики Саха (Якутия). *Вопросы современной экономики*. 2013; (4): 113–130. EDN RZCUTB
2. Винокурова Д.Е., Прохорова М.Н. Современное состояние и развитие животноводства в Республике Саха (Якутия). *Вопросы современной экономики*. 2013; (4): 95–112. EDN RZCUSR
3. Санникова Я.М. Традиционный образ жизни сельского населения Якутии XX в. в контексте изучения аграрной истории. *Мировое экономическое развитие и Россия (XIX–XX вв.). Материалы международной научной конференции*. М.: Институт всеобщей истории РАН. 2009. 212–215. EDN SWBBPR
4. Валь О.М., Стадник А.Т., Самохвалова А.А. Особенности формирования продовольственного обеспечения Республики Саха (Якутия). *Инновации и продовольственная безопасность*. 2023; (2): 105–114. https:doi.org/10.31677/2311-0651-2023-40-2-105-114
5. Ловчикова Е.И., Волченкова А.С. Состояние и проблемы кормопроизводства в региональном АПК. *Биология в сельском хозяйстве*. 2025; (1): 28–31. EDN GPZVHM
6. Осипова В.В., Устинова В.В., Платонова А.З., Кардашевская М.И. Подбор новых кормовых культур для условий криолитозоны. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2026; (1): 116–118. https://doi.org/10.55186/25876740_2026_69_1_116
7. Занданова Т.Н., Черноградская Н.М., Федоров В.И., Субботина Д.М. Перспективы кормопроизводства в Якутии. *Открывая Арктику для себя и других. Сборник научных статей научно-практической конференции*. Якутск: СВФУ. 2023; 96–99. EDN MDCWIY
8. Жиркова Н.Н., Павлова С.А., Пестерева Е.С., Захарова Г.Е. Научно-обоснованные подходы кормопроизводства в условиях рискованного земледелия Республики Саха (Якутия). *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2025; (4): 484–487. https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_4_484
9. Ловчикова Е.И., Зверева Г.П., Волчёнкова А.С. Управление ресурсным обеспечением кормопроизводства. *Вестник аграрной науки*. 2024; (6): 113–121. https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.6.113
10. Усанова З.И. (ред.). Программирование урожайности кукурузы при использовании в технологии возделывания органических, комплексных удобрений и биопрепаратов. Монография. Тверь: *Тверская ГСХА*. 2023; 131. EDN AFPYBY
11. Gong L.-s. *et al.* Improving maize grain yield by formulating plant growth regulator strategies in North China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2021; 20(2): 622–632. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63453-0

REFERENCES

1. Vinokurova D.E., Prokhorova M.N. Food supply providing as a factor of sustainable development of animal husbandry: the case of the Sakha (Yakutia) Republic. *Voprosy sovremennoy ekonomiki*. 2013; (4): 113–130 (in Russian). EDN RZCUTB
2. Vinokurova D.E., Prokhorova M.N. Current state and development of animal husbandry in the Republic of the Sakha (Yakutia) Republic [sic!]. *Voprosy sovremennoy ekonomiki*. 2013; (4): 95–112 (in Russian). EDN RZCUSR
3. Sannikova Ya.M. The traditional lifestyle of the rural population of Yakutia in the 20th century in the context of studying agrarian development. *World Economic Development and Russia (19th–20th Centuries). Proceedings of the International scientific conference*. Moscow: Institute of World History of the RAS. 2009; 212–215 (in Russian). EDN SWBBPR
4. Val O.M., Stadnik A.T., Samokhvalova A.A. Features of the formation of the food supply of the Republic of Sakha (Yakutia). *Innovations and Food Safety*. 2023; (2): 105–114 (in Russian). https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-40-2-105-114
5. Lovchikova E.I., Volchenkova A.S. State and problems of forage production in the regional agro-industrial complex. *Biology in Agriculture*. 2025; (1): 28–31 (in Russian). EDN GPZVHM
6. Osipova V.V., Ustinova V.V., Platonova A.Z., Kardashevskaya M.I. Selection of new forage crops for cryolithozone conditions. *International Agricultural Journal*. 2026; (1): 116–118 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2026_69_1_116
7. Zandanova T.N., Chernogradskaya N.M., Fedorov V.I., Subbotina D.M. Prospects for fodder production in Yakutia. *Discovering the Arctic for oneself and others. Collection of scientific articles of the scientific and practical conference*. Yakutsk: North-Eastern Federal University. 2023; 96–99 (in Russian). EDN MDCWIY
8. Zhirkova N.N., Pavlova S.A., Pestereva E.S., Zakharova G.E. Scientifically based approaches to feed production in the conditions of risky agriculture in the Republic of Sakha (Yakutia). *International Agricultural Journal*. 2025; (4): 484–487 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_4_484
9. Lovchikova E.I., Zvereva G.P., Volchenkova A.S. Resource management of feed production. *Bulletin of agrarian science*. 2024; (6): 113–121 (in Russian). https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.6.113
10. Usanova Z.I. (ed.). Programming of corn yield using organic, complex fertilizers and biological products in cultivation technology. Monograph. Tver: *Tver State Agricultural Academy*. 2023. 131 (in Russian). EDN AFPYBY
11. Gong L.-s. *et al.* Improving maize grain yield by formulating plant growth regulator strategies in North China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2021; 20(2): 622–632. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63453-0

12. Чуян Н.А., Брескина Г.М. Возделывание кукурузы с использованием микробиологических препаратов в условиях биологизации земледелия. *Аграрный научный журнал*. 2025; (2): 77–87. https://doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp77-87

13. Платонова А.З., Алексеева Т.Р. Оценка на зимостойкость сортов плодово-ягодных культур в условиях мерзлотных почв Хангаласского района республики Саха (Якутия). *Аграрная наука*. 2019;3:36-38. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-36-38

14. Тарабукина Н.П., Былгаева А.А., Степанова А.М., Парникова С.И., Неустроев М.П. Новые перспективные штаммы *Bacillus subtilis*, выделенные из мерзлотных почв Якутии. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023; 53(2): 85–93. https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-11

15. Владимиров Л.Н., Неустроев М.П., Тарабукина Н.П. Арктические штаммы *Bacillus subtilis* в современной микробиотехнологии. *Ветеринария и кормление*. 2020; (2): 17–20. https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-2-4

16. Скрябина М.П., Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Неустроев М.П. Ферментативная активность штаммов бактерий *Bacillus subtilis*, выделенных из мерзлотных почв. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2020; (1): 73–79. https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202001011

17. Семенов С.С., Былгаева А.А. Перспективы применения спорообразующих бактерий рода *Bacillus* в сельском хозяйстве Якутии. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015; (5-3): 100–102. EDN TVZTWX

18. Тихонович И.А., Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Кожемяков А.П. Использование биопрепаратов — дополнительный источник элементов питания растений. *Плодородие*. 2011; (3): 9–13. EDN ONRJHJ

19. Ахалбедашвили Д.В. Оптимальные междурядье и норма высева для формирования максимальной урожайности зелёной массы кукурузы. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2022; 16(2): 7–15. https://doi.org/10.22450/199996837_2022_2_7

20. Жиркова Н.Н., Павлова С.А., Пестерева Е.С. Сроки посева, урожайность и качество зеленой массы новых кормовых культур в условиях Якутии. *International Agricultural Journal*. 2022; 65(5): 263–282. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_15

12. Chuyan N.A., Breskina G.M. Maize cultivation with the use of microbiological preparations in the conditions of biologization of farming. *Agrarian Scientific Journal*. 2025; (2): 77–87 (in Russian). http://doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp77-87

13. Platonova A.Z., Alekseeva T.R. Assessment on winter hardiness of varieties of fruit and berry cultures in the conditions of the Hangalassky ulus of Sakha (Yakutia) Republic. *Agrarian science*. 2019;3:36-38. (in Russian) https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-36-38

14. Tarabukina N.P., Bylgaeva A.A., Stepanova A.M., Parnikova S.I., Neustroev M.P. New promising strains of *Bacillus subtilis* isolated from frozen soils of Yakutia. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2023; 53(2): 85–93 (in Russian). https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-11

15. Vladimirov L.N., Neustroev M.P., Tarabukina N.P. Arctic strains of *Bacillus subtilis* of in modern microbiotechnology. *Veterinaria i kormlenie*. 2020; (2): 17–20 (in Russian). https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-2-4

16. Scriabina M.P., Stepanova A.M., Tarabukina N.P.1, Neustroev M.P. Enzymatic activity of *Bacillus subtilis* strain strains from frozen soils. *Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2020; (1): 73–79 (in Russian). https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202001011

17. Semenov S.S., Bylgaeva A.A. Prospects of application of spore-forming bacteria of the genus *Bacillus* in agriculture of Yakutia. *International Research Journal*. 2015; (5-3): 100–102 (in Russian). EDN: TVZTWX

18. Tikhonovich I.A., Zavalin A.A., Blagoveshchenskaya G.G., Kozhemyakov A.P. The use of biopreparation - an additional source of power plants. *Plodorodie*. 2011; (3): 9–13 (in Russian). EDN ONRJHJ

19. Akhalbedashvili D.V. Optimal row spacing and seeding rate for the maximum yield formation of green mass of corn. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022; 16(2): 7–15 (in Russian). https://doi.org/10.22450/199996837_2022_2_7

20. Zhirkova N.N., Pavlova S.A., Pestereva E.S. Terms of sowing, yield and quality of the green mass of new fodder crops in the conditions of Yakutia. *International Agricultural Journal*. 2022; 65(5): 263–282 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_15

ОБ АВТОРАХ

Елена Семеновна Пестерева[1,2]
- доктор сельскохозяйственных наук, доцент
- старший преподаватель
lena79pestereva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6097-7740

Сахаяна Афанасьевна Павлова[1]
доктор сельскохозяйственных наук, доцент
sachayana@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5485-4330

Галина Егоровна Захарова[1]
Кандидат сельскохозяйственных наук
galina61zaxarova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7109-680X

Наталья Николаевна Жиркова[1]
научный сотрудник
zhirkova.jinni@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2042-8728?lang = ru

Анастасия Игнатьевна Винокурова1
аспирант
vinokurova-ai@mail.ru

[1]Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», ул. им. Бестужева-Марлинского, 23, корпус 1, Якутск, 677001, Россия

[2]Октемский филиал ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет, пер. им. Моисеева, 16, с. Октемцы, Республика Саха (Якутия), 678011, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Elena Semenovna Pestereva[1, 2]
- Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
- Senior Lecturer
lena79pestereva@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6097-7740

Sakhayana Afanasyevna Pavlova[1]
Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
sachayana@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5485-4330

Galina Egorovna Zakharova[1]
Candidate of Agricultural Sciences,
galina61zaxarova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7109-680X

Natalya Nikolaevna Zhirkova[1]
Research Scientist
zhirkova.jinni@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2042-8728

Anastasia Ignatievna Vinokurova1
Postgraduate Student
tvinokurova-ai@mail.ru

[1]M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture,
23/1 Bestuzhev-Marlinsky st., Yakutsk 677001, Russia

[2]Oktemsky branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education,
16 Moiseev Lane, Oktemtsy village, Republic of Sakha (Yakutia), 678011, Russia

УДК 631.371:662.638:665.33

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-147-153

Р.В. Ахметова ✉

А.Э. Ахметов

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

✉ *ahmetova_rv@bk.ru*

Поступила в редакцию: 26.05.2026

Одобрена после рецензирования: 10.08.2026

Принята к публикации: 26.08.2026

© Ахметова Р.В., Ахметов А.Э.

Замещение природного газа гранулированной лузгой подсолнечника в паровых котельных маслоэкстракционных производств: резервы повышения КПД при ограничении по оксиду углерода

РЕЗЮМЕ

Обрушивание маслосемян оставляет лузгу, которую маслоэкстракционные заводы сжигают в собственных котельных, замещая покупной природный газ. Резервы экономии топлива при такой замене оценивают в допущении, что коэффициент избытка воздуха и потери от недожога снижаются совместно. Цель работы — количественно оценить эти резервы при физически корректном учете недожога и ограничении по концентрации CO. Потери от химического и механического недожога описаны растущими при уменьшении α зависимостями с калибровкой по опубликованным натурным испытаниям, рабочая точка найдена как условный минимум суммы потерь. Модель обратного теплового баланса верифицирована на 16 режимах котла ДКВр-6,5-13ГМ: смещение расчётной q2 составило -0,08 п.п. при СКО 0,03 п.п. На газе переход от штатной автоматики к регулированию по O_2 и CO повышает КПД брутто с 91,34 до 92,83 % (измерено 91,31 и 92,78 %), причём 1,12 из 1,49 п.п. дало снижение температуры уходящих газов, а не воздушный режим; для котла ДЕ-25-14ГМ выигрыш лежит между нулем и 2,25 п.п. и задан объектным параметром αCO. При переходе на гранулированную лузгу резерв меняет знак: у котла ДКВр-10-13 удержать CO на уровне 500 мг/м³ можно, лишь подняв α с 1,82 до 1,95–2,21, ценой 0,22–1,17 п.п. КПД, тогда как достижимые 1,04 п.п. лежат в распределении дутья и снижении температуры уходящих газов. Изменчивость партий агросырья разносит допустимую уставку кислорода на 10,0–14,1% об., что исключает стационарную режимную карту. Градиентный бустинг восстанавливает уставку с MAE 0,197% O_2 при R^2 = 0,940 против 0,796% O_2 у постоянной уставки, а квантильный вариант удерживает ограничение в 92,1% режимов ценой 0,52 п.п. вместо 1,83 п.п.

Ключевые слова: отходы маслоэкстракционного производства, гранулированная лузга подсолнечника, энергообеспечение предприятий АПК, замещение природного газа, паровой котел, ограничение по оксиду углерода, изменчивость партий агросырья, обратный тепловой баланс, адаптивная уставка остаточного кислорода, градиентный бустинг

Для цитирования: Ахметова Р.В., Ахметов А.Э. Замещение природного газа гранулированной лузгой подсолнечника в паровых котельных маслоэкстракционных производств: резервы повышения КПД при ограничении по оксиду углерода. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 147–153.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-147-153

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-147-153

Rimma V. Akhmetova ✉

Askar E. Akhmetov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

✉ *ahmetova_rv@bk.ru*

Received by the editorial office: 26.05.2026

Accepted in revised: 10.08.2026

Accepted for publication: 26.08.2026

© Akhmetova R.V., Akhmetov A.E.

Replacing natural gas with granulated sunflower husk in the steam boiler plants of oil extraction facilities: efficiency reserves under a carbon monoxide constraint

ABSTRACT

Dehulling of oilseeds leaves husk, which oil extraction plants burn in their own boiler houses in place of purchased natural gas. Fuel saving reserves for such a substitution are usually estimated on the assumption that the excess air ratio and the incomplete combustion loss fall together. This work quantifies those reserves with a physically consistent treatment of incomplete combustion and a carbon monoxide constraint. The chemical and mechanical incomplete combustion losses are represented by functions that rise as the excess air ratio is reduced, calibrated against published field tests, and the operating point is located as the constrained minimum of the total loss. The model was verified against 16 measured regimes of a DKVr-6.5-13GM boiler: the flue gas heat loss was reproduced with a bias of -0.08 pp and a standard deviation of 0.03 pp. On natural gas, replacing the standard controls with combined oxygen and carbon monoxide control raises the gross efficiency from 91.34 to 92.83% (measured: 91.31 and 92.78%), yet 1.12 of the 1.49 pp comes from the lower flue gas temperature rather than from the air regime; for a DE-25-14GM boiler the gain falls anywhere between zero and 2.25 pp and is fixed by the site-specific parameter αCO. Upon conversion to granulated sunflower husk the reserve changes sign: for a DKVr-10-13 boiler, holding carbon monoxide at 500 mg/m³ requires raising the excess air ratio from 1.82 to 1.95–2.21, at a cost of 0.22–1.17 pp of gross efficiency, whereas the attainable 1.04 pp lies in air distribution and flue gas temperature. Batch variability of the agricultural feedstock spreads the admissible oxygen setpoint over 10.0–14.1 vol. %, which rules out a fixed regime chart. Gradient boosting recovers the setpoint with a mean absolute error of 0.197% O_2 at R^2 = 0.940, against 0.796% O_2 for a fixed setpoint, and its quantile loss variant keeps the constraint satisfied in 92.1% of the regimes at a cost of 0.52 pp instead of 1.83 pp.

Key words: oil extraction waste; granulated sunflower husk; energy supply of agro-industrial enterprises; natural gas replacement; steam boiler; carbon monoxide constraint; agricultural feedstock batch variability; reverse heat balance; adaptive residual oxygen setpoint; gradient boosting

For citation: Akhmetova R.V., Akhmetov A.E. Replacing natural gas with granulated sunflower husk in the steam boiler plants of oil extraction facilities: efficiency reserves under a carbon monoxide constraint. *Agrarian science*. 2026; 410(09): 147–153 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-147-153

Введение/Introduction

Переработка маслосемян принадлежит к наиболее энергоемким производствам агропромышленного комплекса. Пар давлением 1,3–1,4 МПа расходуется на влаготепловую обработку мятки, дистилляцию растворителя, тостирование шрота, сушку и подготовку семян к хранению, а также на отопление корпусов; потребность закрывают производственно-отопительные котельные с котлами ДКВр, ДЕ и КЕ, которые эксплуатируют по стационарным режимным картам.

Обрушивание семян оставляет лузгу. Мировой сбор подсолнечника в сезоне 2020/2021 гг. составил 50 млн т, доля России 27% [1], и каждая переработанная тонна семян оставляет отход, требующий утилизации. Сжигание гранулированной лузги в собственной котельной решает две задачи одновременно: снимает вопрос обращения с отходом и замещает покупной природный газ. Зольный остаток сохраняет агрономическую ценность и пригоден в качестве удобрения, поэтому схема замыкает материально-энергетический цикл переработки внутри предприятия [1].

Топливо остается крупной статьей себестоимости, и вопрос о резервах его экономии возникает при каждой режимной наладке. Принятая схема оценки такова: фиксируют «эксплуатационный» коэффициент избытка воздуха α, назначают «оптимизированный» меньший, а разность потерь с уходящими газами объявляют резервом. Схема не учитывает, что снижение α уменьшает потерю q2, но увеличивает потери от химического q3 и механического q4 недожога. Одновременное убывание всех трех слагаемых невозможно, и сумма управляемых потерь имеет внутренний минимум.

Для гранулированной лузги положение этого минимума и его допустимость определяются свойствами самого агросырья: содержание кислорода в рабочей массе достигает 39,4%, выход летучих 77,5% горючей массы [1], поэтому полнота выгорания требует значительного воздушного запаса. Опубликованные замеры это подтверждают. При O_2 около 9,5% об. концентрация CO на гранулах лузги составляет 1095–1098 мг/м³ [2–4]; тот же уровень зафиксировал длительный мониторинг промышленного котла тепловой мощностью 2,3 МВт [5], а на маломощном теплогенераторе CO достигает 3522–9763 мг/м³ [6]. Древесные гранулы при близких α дают 198–470 мг/м³ [7, 8], то есть различие задано видом биомассы, а не режимом сжигания.

Вторая особенность агросырья — непостоянство состава. Влажность рабочей массы гранул изменяется в пределах 6,6–8,7%, зольность 2,47–3,40%, низшая теплота сгорания 16,55–18,2 МДж/кг [1–3, 9], а допуски стандарта на недревесные пеллеты[1] ещё шире. Партия зависит от сорта и района выращивания, года, режима отжима и условий хранения, то есть от факторов, лежащих вне котельной. Расчет по средним значениям состава выводит эту изменчивость за рамки задачи, а стационарная режимная карта не в состоянии за ней следовать.

Цифровизация АПК развивается преимущественно в полевых процессах и логистике [10, 11], энергетическое хозяйство перерабатывающих предприятий охвачено ею слабее. Применение машинного обучения к моделированию и управлению горением известно с начала 2000-х гг. [12]; современные работы используют глубокие сети с многокритериальной оптимизацией [13] и гибридные цифровые двойники [14]. Управление сжиганием биомассы по тренду концентрации CO реализовано [15], однако допустимая уставка остаточного кислорода там не восстанавливалась.

Гипотеза исследования состоит в том, что при замещении природного газа гранулированными отходами маслоэкстракционного производства резерв, связанный с воздушным режимом, меняет знак: снижение α, оправданное на газе, для лузги запрещено ограничением по выбросам CO и приводит к перерасходу топлива. Изменчивость партий отхода при этом настолько велика, что ни одно фиксированное значение уставки остаточного кислорода не обеспечивает выполнения ограничения.

Цель работы — количественно оценить резервы повышения КПД брутто паровых котлов маслоэкстракционного производства при физически корректном учете потерь от недожога и ограничении по концентрации оксида углерода. Поставлены две задачи. Первая: построить модель обратного теплового баланса, верифицировать ее по опубликованным натурным испытаниям, определить рабочую точку как условный минимум управляемых потерь и оценить неопределенность результата. Вторая — восстановить допустимую по CO установку остаточного кислорода методами машинного обучения по признакам, доступным в штатном контуре измерения котельной.

Научная новизна работы состоит в следующем. Установлена смена знака резерва воздушного режима при переходе котельной перерабатывающего предприятия с природного газа на гранулированные отходы маслоэкстракции, а граница допустимого по CO режима получена как функция показателя качества смесеобразования. Изменчивость партий агросырья введена в задачу режимной наладки как самостоятельный фактор: допустимая уставка остаточного кислорода меняется по партиям в диапазоне, на порядок превышающем точность ее поддержания по стационарной карте.

[1] ГОСТ 33103.6–2017 (ISO 17225-6:2014). Биотопливо твёрдое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 6. Классификация недревесных пеллет. Москва: Стандартинформ, 2017.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование выполняли в 2025–2026 гг. на кафедре «Электрические станции» Казанского государственного энергетического университета (Казань) как вычислительный эксперимент с верификацией по независимым результатам натурных испытаний, опубликованным в 2012–2025 гг. Характеристики гранулированной лузги приняты по данным анализа образцов Казанского маслоэкстракционного завода [1]; элементный состав пересчитан с сухой массы на рабочую при Wp = 6,80%. Верификационный набор составили 16 режимов котла ДКВр-6,5-13ГМ, испытанного при четырех нагрузках и четырех способах регулирования [16].

КПД брутто определяли обратным тепловым балансом по нормативному методу[2]: $\eta = 100 - (q2 + q3 + q4 + q5 + q6)$. Объемы воздуха и продуктов сгорания находили стехиометрически по элементному составу гранул и объемным долям углеводородов газа; влагосодержание воздуха принято 10 г/кг, энтальпии рассчитывали по средним объемным теплоемкостям.

$$q2 = (I_г - I_в)/Q_{рр} \times (100 - q4)/100 \times 100\ \% \quad (1)$$

Потерю от химического недожога вычисляли по измеренной концентрации CO, а не по табличным значениям[3]:

$$q3 = 100 \times Q_{CO} \times V_{CO} / Q_{рр}, \quad (2)$$

где Q_{CO} = 12 640 кДж/м³.

Опубликованные концентрации отнесены к 10% O_2; к фактическим их приводили множителем $(21 - O_{2,\text{оп}})/(21 - O_{2,\text{факт}})$. Потерю q4 задавали как функцию избытка воздуха:

$$q4(\alpha) = 100 \times 32\,700 \times (A_р/100) \times С_{ун} / [(100 - С_{ун}) \times Q_{рр}] \times \exp[-k4\,(\alpha - \alpha_{оп})], \quad (3)$$

где Сун — содержание углерода в уносе.

Коэффициент k4 = 0,80 найден по данным [17], где конверсия углерода возрастает с 74,2 до 83,4% при увеличении α с 2,53 до 3,08, откуда $k4 = \ln(25{,}8/16{,}6)/0{,}55$. Потерю q5 принимали постоянной: 1,1% для котла 25 т/ч и 1,7% для котла 10 т/ч при нагрузке около 60% номинальной[3]. У газа q6 равна нулю; у гранул при зольности ниже 3% она не превышает 0,1% и также принята нулевой, поэтому КПД брутто завышен не более чем на 0,1 п.п.

Концентрацию CO описывали функцией с полюсом при $\alpha \to 1$:

$$C_{CO}(\alpha) = C_{CO,оп} \times [(\alpha_{оп} - 1)/(\alpha - 1)]^n \quad (4)$$

Показатель n универсального значения не имеет: он характеризует качество смесеобразования конкретного объекта и определялся по двум измеренным точкам. За рабочий режим принимали условный минимум управляемых потерь:

$$\alpha^* = \arg\min\,[q2(\alpha) + q3(\alpha) + q4(\alpha)]$$

$$\text{при } C_{CO}(\alpha) \le C_{CO,доп} \quad (5)$$

Действующие стандарты не устанавливают норматив по CO для паровых котлов производительностью 10–25 т/ч. Содержание CO на выходе из топки при α = 1 ограничено значением 0,05% об.[4], норматив 130–160 мг/м³ распространяется только на водогрейные котлы мощностью 0,1–4,0 МВт[5], а требования к котлам 160–3950 т/ч[6] к рассматриваемым объектам не относятся. Ограничения задавали поэтому самостоятельно: для газового котла 240 ppm (300 мг/м³), для котла на гранулах параметрически при 300, 500, 1000 и 1500 мг/м³ в пересчёте к 10% O_2.

Первым объектом принят котел ДЕ-25-14ГМ производительностью 25 т/ч при давлении 1,4 МПа на природном газе состава CH4 91,5; C2H6 0,9; C3H8 0,3; C4H10 0,1; N2 6,6; CO_2 0,6% об., что дает $Q_{нр}$ = 33,80 МДж/м³ и V^0 = 8,963 м³/м³ при эксплуатационных α 1,40; 1,55 и 1,65. Второй объект — котел ДКВр-10-13 производительностью 10 т/ч при давлении 1,3 МПа, сжигающий гранулы лузги; рабочая масса пересчитана из [1]: Ср 44,10; Нр 6,06; Ор 39,40; Np 0,89; Sp 0,05; Wp 6,80; Ар 2,70%. Формула Менделеева даёт $Q_{нр}$ = 16,75 МДж/кг и V^0 = 4,216 м³/кг против измеренных 16,55 [2] и завышенных 18,2 [3]. Опорной точкой служит CO 1100 мг/м³ при 10 % O_2 (замер при 9,5%, $\alpha_{оп}$ = 1,815); приняты $\vartheta_{ух}$ 150 °C для газа и 165 °C для гранул, $t_{хв}$ 30 °C.

Модель проверена на 16 режимах котла ДКВр-6,5-13ГМ [16] при нагрузках 50, 65, 80 и 100%. Состав газа в источнике не приведен и принят близким к первому объекту: $Q_{нр}$ = 33,65 МДж/м³, V^0 = 8,925 м³/м³. Расчет вели по измеренным O_2 и $\vartheta_{ух}$, а не по q2; запись «CO < 10 ppm» интерпретировали как 10 ppm. Прочие потери восстановили как $100 - \eta_{изм} - q2_{,изм} - q3_{,расч}$ и усреднили по нагрузкам, получив 4,17; 3,24; 2,77 и 2,17 п.п. Температура холодного воздуха в источнике также отсутствует и принята равной 25 °C. Неопределенность оценивали методом Монте-Карло при 12 000 реализациях: варьировали состав гранул, затем добавили $C_{CO,оп}$ 700–1600 мг/м³, n = 1–3, Сун 15–35% и погрешность $\vartheta_{ух}$ со СКО 3 °C.

Уставку O_2^* при $C_{CO,доп}$ = 500 мг/м³ восстанавливали по десяти признакам: нагрузка, измеренный O_2, приведенная концентрация CO и ее логарифмическая чувствительность при $\Delta\alpha$ = 0,05, $\vartheta_{ух}$, $t_{хв}$, влажность, зольность, $Q_{нр}$ партии и оценка q2. Выборку сформировал цифровой двойник

[2] Тепловой расчёт котлов (Нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и доп. / подгот. АООТ «ВТИ» и АООТ «НПО ЦКТИ». Санкт-Петербург, 1998. 256 с.

[3] Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час: утв. Госкомэкологии России 09.07.1999. Москва, 1999.

[4] ГОСТ 21204–97. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования. Москва: Стандартинформ, 1998.

[5] ГОСТ 30735–2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2002.

[6] ГОСТ Р 50831–2025. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. Москва: Российский институт стандартизации, 2025.

объекта: 500 партий по 12 режимов, всего 6000 наблюдений. Сравнивали постоянную уставку, гребневую регрессию, перцептрон 64–32 и градиентный бустинг с квадратичной и квантильной потерями при τ = 0,90; 0,95 и 0,98, поскольку занижение уставки обходится дороже завышения. Проверку проводили по партиям (GroupKFold, пять блоков), значимость признаков оценивали перестановками при 15 повторах.

Работа носит расчетный характер, собственных замеров на котельной перерабатывающего предприятия не проводилось. Прочие потери восстановлены из измеренных значений КПД и q2, поэтому остаток по КПД равен остатку по q2 с обратным знаком. Показатель n для лузги в публикациях отсутствует: доступны лишь $\alpha \approx 1{,}6$–$2{,}7$ при концентрациях CO, различающихся почти на порядок [2–4, 6], а область $\alpha < 1{,}6$ получена экстраполяцией. Достигнутое согласие с измерениями отвечает допускам приёмочных испытаний[7]: ± 0,5 п.п. по КПД и ± 0,05 по положению оптимума

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Смещение расчетной q2 составило -0,08 п.п. при СКО 0,03 п.п. и наибольшем по модулю отклонении 0,13 п.п.; восстановленный α расходится с источником не более чем на 0,015. Сама потеря изменяется в пределах 2,29 п.п. (4,94–7,23%), то есть разброс остатков почти на два порядка меньше диапазона верифицируемой величины. Данные охватывают α = 1,50–2,19 и ϑух = 100–122 °C. Показатель n калибровали по двум режимам каждой нагрузки, получив 10,7; 11,0; 10,6 и 16,1 при среднем 12,1: три нагрузки дают близкие оценки, номинальная выпадает из ряда.

На тех же режимах проверен критерий (5). При опорной точке α = 1,50 и CO = 245 ppm безусловный минимум суммы потерь приходится на α^* = 1,498, граница по нормативу отвечает α = 1,501, а наилучший по КПД режим в [16] реализован при α = 1,50; расчётный КПД брутто в оптимуме равен 92,85% против измеренных 92,78%. Независимой такую проверку считать нельзя, поскольку опорная точка взята из того же режима. Положение минимума круто зависит от n: при n = 3 оптимум смещается к 1,33, при n = 5 к 1,42, при n = 8 к 1,47, и только значение 12,1 согласует расчёт с экспериментом; смена опорной точки даёт α^* = 1,47–1,56.

Более строгую проверку дало сопоставление двух способов регулирования на номинальной нагрузке. Штатная автоматика удерживала α = 1,67 при ϑух = 122 °C, регулирование по O_2 и CO — 1,50 и 105 °C; измеренный КПД брутто вырос с 91,31 до 92,78% (1,47 п.п.), расчётный с 91,34 до 92,83% (1,49 п.п.), расхождение составило 0,03 и 0,05 п.п. На снижение α приходится 0,47 п.п. прироста, на снижение ϑух на 17 °C 1,12 п.п.; остаток −0,10 п.п. дало взаимодействие, так как q3 вырос с 0,005 до 0,116%. Больше двух третей прироста обеспечено состоянием хвостовых поверхностей, а не воздушным режимом.

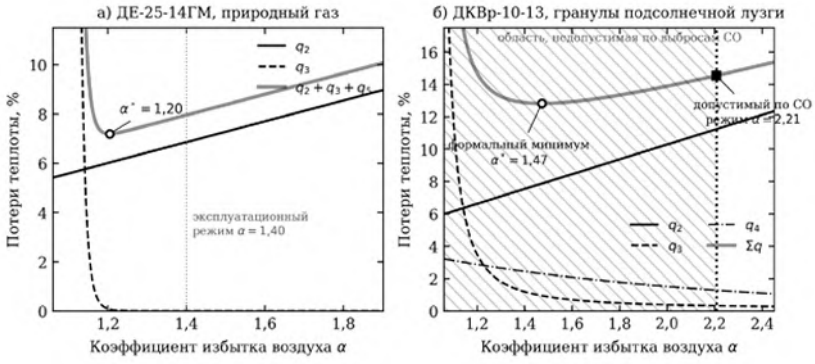
Прирост КПД брутто котла ДЕ-25-14ГМ определяется объектным параметром αCO, наименьшим значением α, при котором концентрация CO остаётся в пределах ограничения (рисунок 1, а). Оценка дает от нуля до 2,25 п.п.: при фактическом α = 1,55–1,65 и достижимой границе 1,10–1,30 прирост составляет 0,96–2,25 п.п. У котла из [16] αCO = 1,50, поэтому работа при α = 1,40 для него недопустима, а расчетная концентрация CO достигает 3577 ppm. Пока αCO не измерен, резерв нельзя назвать даже по порядку величины, что делает стационарный газоанализатор с каналом CO условием любой обоснованной наладки.

Смена знака резерва при переходе на гранулированную лузгу

У котла ДКВр-10-13 картина обратная (рисунок 1, б). В базовом режиме потери составляют q3 = 0,48%, q4 = 1,76 % и q2 = 9,44%, чему отвечает КПД брутто 86,62%. Сумма потерь формально минимальна при α = 1,22–1,78 в зависимости от n, однако во всём этом интервале расчётная концентрация CO составляет 1406–4038 мг/м³, что исключает эксплуатацию в найденном оптимуме.

Удержание CO на уровне 500 мг/м³ требует повышения α до 1,95–2,21 (таблица 1), то есть выше эксплуатационного значения 1,815, и стоит 0,22–1,17 п.п. КПД брутто. Ограничивающим фактором выступает не избыток воздуха как таковой, а полнота выгорания летучих: при содержании кислорода около 40% рабочей массы и повышенной

Рис. 1. Потери теплоты в функции коэффициента избытка воздуха: а — котел ДЕ-25-14ГМ на природном газе при αCO = 1,20; б — котел ДКВр-10-13 на гранулах подсолнечной лузги при n = 2. Штриховкой показана область, недопустимая по выбросам оксида углерода при CCO,доп = 500 мг/м³
Fig. 1. Heat losses as a function of the excess air ratio: (a) DE-25-14GM boiler fired with natural gas at αCO = 1.20; (b) DKVr-10-13 boiler fired with sunflower husk pellets at n = 2. Hatching marks the region inadmissible by carbon monoxide emissions at a 500 mg/m³ limit



[7] ГОСТ Р 55682.15–2013 (ЕН 12952-15:2003). Котлы водотрубные и котельно-вспомогательное оборудование. Часть 15. Приёмочные испытания. Москва: Стандартинформ, 2014.

Таблица 1. **Требуемый коэффициент избытка воздуха и КПД брутто котла ДКВр-10-13 на гранулах подсолнечной лузги при различных ограничениях по концентрации оксида углерода**

Table 1. **Required excess air ratio and gross efficiency of a DKVr-10-13 boiler fired with sunflower husk pellets under different carbon monoxide limits**

n	Формальный минимум α^*	CO при α^*, мг/м³	CCO,доп = 300 мг/м³	CCO,доп = 500 мг/м³	CCO,доп = 1000 мг/м³	CCO,доп = 1500 мг/м³
1	1,22	4038	недостижимо	недостижимо	α = 1,90 КПД = 86,36 Δ = −0,26	α = 1,60 КПД = 87,25 Δ = 0,63
2	1,47	3280	недостижимо	α = 2,21 КПД = 85,45 Δ = −1,17	α = 1,85 КПД = 86,52 Δ = −0,10	α = 1,70 КПД = 86,89 Δ = 0,27
3	1,63	2359	α = 2,26 КПД = 85,40 Δ = −1,22	α = 2,06 КПД = 86,01 Δ = −0,61	α = 1,84 КПД = 86,56 Δ = −0,06	α = 1,74 КПД = 86,75 Δ = 0,13
5	1,78	1406	α = 2,06 КПД = 86,14 Δ = −0,48	α = 1,95 КПД = 86,39 Δ = −0,22	α = 1,83 КПД = 86,61 Δ = −0,01	α = 1,77 КПД = 86,63 Δ = 0,01

Примечание. Базовый режим α = 1,815 (O_2 = 9,5% об.), КПД брутто 86,62%. Δ — изменение КПД брутто относительно базового режима; отрицательное значение означает, что ограничение по CO требует повышения избытка воздуха и снижает КПД. «Недостижимо» — требуемое α выходит за пределы работоспособности котла. Концентрации приведены к 10% O_2.

Таблица 2. **Качество восстановления допустимой уставки остаточного кислорода (пятиблочная групповая кросс-валидация по партиям топлива, 6000 наблюдений, 500 партий)**

Table 2. **Accuracy of admissible residual oxygen setpoint recovery (five-fold group cross-validation by fuel batch, 6000 observations, 500 batches)**

Решение	MAE, % O_2	RMSE, % O_2	R^2	Доля $\lvert\Delta\rvert \le 0{,}5\%$ O_2, %	Средняя потеря КПД, п.п.	Доля режимов с превышением CO, %
Постоянная уставка (медиана)	0,796	1,051	−0,044	41,0	0,755	55,0
Гребневая линейная регрессия	0,289	0,404	0,846	83,7	—	—
Многослойный перцептрон 64–32	0,230	0,295	0,918	91,2	—	—
Градиентный бустинг, потери MSE	0,197	0,251	0,940	95,3	0,190	52,5
Градиентный бустинг, квантиль 0,90	0,296	0,370	0,871	81,5	0,254	19,9
Градиентный бустинг, квантиль 0,95	0,382	0,469	0,792	70,2	0,332	14,8
Градиентный бустинг, квантиль 0,98	0,564	0,679	0,564	50,7	0,521	7,9
Постоянная уставка с запасом (квантиль 0,90)	—	—	—	—	1,831	5,0
Постоянная уставка с запасом (квантиль 0,98)	—	—	—	—	3,494	1,0

Примечание. Технологические метрики (два последних столбца) вычислены на проверочной части одного разбиения (1200 наблюдений); средняя потеря КПД — среднее по модулю отклонение от КПД брутто при точной уставке

зольности она достигается лишь при значительном воздушном запасе. Гипотеза о смене знака подтверждается: приём, дающий на газе 0,47 п.п., на отходе маслоэкстракции переходит в потерю.

Резервы котла на лузге лежат вне управления средним значением α. Распределение первичного и вторичного дутья снижает концентрацию CO на 12% при неизменном α [18], граница опускается с 2,21 до 2,13, а КПД брутто растет с 85,45 до 85,69% (0,24 п.п.). Охлаждение уходящих газов на 10 °C добавляет ещё 0,80 п.п., в базовом режиме тот же прием дает 0,69 п.п. Суммарно достижимы 1,04 п.п., что отвечает КПД брутто 86,49%.

Неопределенность и уставка остаточного кислорода

Разброс характеристик гранул дает Qнр 15,04–16,86 МДж/кг (±5,7% от медианы) и КПД брутто 86,16–86,87% при СКО 0,15 п.п. С учетом опорной концентрации CO, показателя n, уноса и ϑух интервал расширяется до 84,69–88,20% (3,5 п.п.) при СКО q4 0,57 против 0,22 у q2 и 0,12 у q3. Точечная оценка КПД без интервала неопределённости в этих условиях не информативна. У газового котла q2 неопределен на 0,31 п.п.: tхв ±5 °C дает 0,245, ϑух ±3 °C 0,172, O_2 ±0,2% об. лишь 0,075.

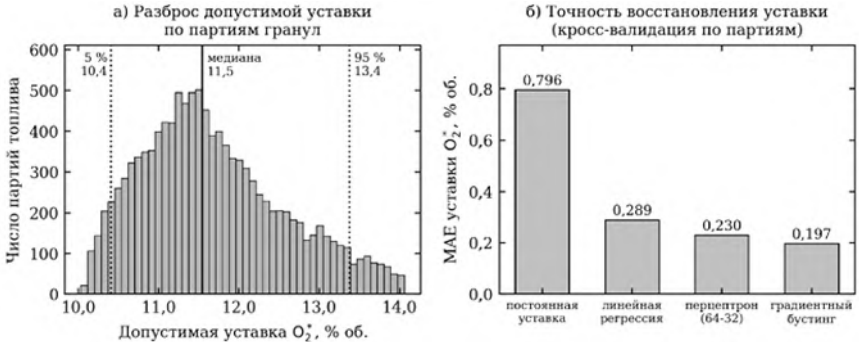
Допустимая уставка меняется по партиям от 10,0 до 14,1% об. при 90-процентном интервале 10,4–13,4% (рисунок 2), тогда как точность поддержания уставки по стационарной карте на порядок выше этого разброса. Постоянное значение выполнения ограничения не обеспечивает.

При запасе в два СКО сжатие $\sigma(\alpha)$ с 0,15 до 0,05 поднимает КПД на газе с 91,62 до 92,46%, на гранулах с 84,40 до 85,11%.

Уставка O_2^* лежит в пределах 10,1–15,0% об. при СКО 1,03. Лучший результат получен градиентным бустингом: MAE 0,197% O_2 при R^2 = 0,940. Квантильная настройка сокращает долю режимов с превышением CO до 7,9% (таблица 2), причем цена такого запаса составляет 0,52 п.п. КПД против 1,83 п.п. у постоянной уставки, назначенной с той же надежностью. Определяющими признаками оказались измеренная концентрация O_2 (0,72% O_2 к MAE при перестановке) и приведённая концентрация CO (0,60); чувствительность даёт 0,067, а характеристики партии неотличимы от нуля, поэтому непрерывное измерение CO делает лабораторный

Рис. 2. Обоснование и качество адаптивного определения уставки: а — распределение допустимой по оксиду углерода уставки остаточного кислорода по партиям гранул (12 000 реализаций, ограничение 500 мг/м³); б — средняя абсолютная ошибка восстановления уставки различными моделями

Fig. 2. Rationale for and accuracy of adaptive setpoint determination: (a) distribution of the carbon-monoxide-admissible residual oxygen setpoint across pellet batches (12,000 realisations, 500 mg/m³ limit); (b) mean absolute error of setpoint recovery for the models considered



анализ партии для этой задачи избыточным. MAE 0,322% O_2 достигается на 40 партиях (480 наблюдений), 0,200% на 400 партиях, асимптотическое поведение начинается после 160, то есть требуемый архив накапливается за один-два производственных сезона.

Расчётный расход топлива котлом ДКВр-10-13 при нагрузке около 60% номинальной составляет 979 кг/ч, что при 5600 ч работы в год даёт около 5,5 тыс. т гранул. Вводимая с топливом теплота, 92 ТДж в год, эквивалентна 2,7 млн м³ природного газа: именно этот объём завод не покупает, направляя собственный отход в котельную. Достижимые 1,04 п.п. КПД брутто отвечают экономии 65,7 т гранул в год, а сжатие разброса α сохраняет еще 46,2 т. Зольный остаток при Ар = 2,70% составляет около 148 т в год и возвращается в сельскохозяйственный оборот [1]. Для газового котла ДЕ-25-14ГМ годовой расход при тех же условиях равен 8,0 млн м³, поэтому диапазон резерва 0,96–2,25 п.п. соответствует 84–197 тыс. м³ газа; ширина интервала здесь важнее его границ, поскольку без измеренного αCO экономический расчет наладочных работ построить нельзя.

Основной практический вывод касается переноса опыта. Наладка газовых котельных строится на снижении избытка воздуха, и этот прием воспроизводят при переводе котлов на растительные отходы. Для гранулированной лузги он даёт обратный результат. Действительные резервы лежат в распределении дутья, состоянии хвостовых поверхностей и в адаптации уставки к текущей партии топлива.

Выводы/Conclusion

Проведенное исследование подтвердило, что гипотеза об одновременном снижении коэффициента избытка воздуха и потерь от недожога при сжигании органического топлива несостоятельна: уменьшение α снижает потерю с уходящими газами q2q2, но закономерно увеличивает потери от химического q3q3 и механического q4q4 недожога. На основе верифицированной модели обратного теплового баланса (смещение расчетной q2q2 составило -0,08 п.п. при СКО 0,03 п.п. по 16 режимам котла ДКВр-6,5-13ГМ) впервые количественно показано, что при переходе с природного газа на гранулированную лузгу подсолнечника резерв воздушного режима меняет знак. Если для газового котла ДЕ-25-14ГМ потенциальный прирост КПД брутто достигает 0,96–2,25 п.п. (при условии измерения объектного параметра αCO), то для котла ДКВр-10-13 на гранулах удержание концентрации CO на уровне 500 мг/м³ требует повышения α с эксплуатационного 1,82 до 1,95–2,21, что обходится в 0,22–1,17 п.п. КПД брутто. Реальный энергосберегающий эффект для лузги (до 1,04 п.п., или 65,7 т гранул в год) достигается не за счет снижения α, а за счет оптимизации распределения дутья и снижения температуры уходящих газов, причём более двух третей прироста КПД на газе также обусловлены состоянием хвостовых поверхностей, а не воздушным режимом.

Установлено, что изменчивость партий агросырья (влажность, зольность, теплота сгорания) разносит допустимую по CO уставку остаточного кислорода в диапазоне 10,0–14,1% об., что делает стационарную режимную карту неприменимой. Для решения этой задачи впервые предложен и апробирован метод адаптивного восстановления уставки на основе градиентного бустинга по признакам штатного контура измерения (измеренный O_2, приведённая концентрация CO, температура уходящих газов). Лучшая модель обеспечивает MAE 0,197% O_2 при R^2 = 0,940, а квантильная настройка гарантирует выполнение ограничения по CO в 92,1% режимов ценой всего 0,52 п.п. КПД против 1,83 п.п. при постоянной уставке с тем же запасом надежности. Полученные результаты носят расчетный характер и требуют натурной верификации, однако они однозначно свидетельствуют, что цифровая адаптация к текущей партии топлива является необходимым условием эффективной и экологически приемлемой эксплуатации паровых котельных маслоэкстракционных производств при замещении природного газа отходами переработки подсолнечника.

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 счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ.

FUNDING

The study was carried out using a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and teaching staff to defend doctoral dissertations and carry out research work.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Islamova S., Karaeva J., Timofeeva S., Kadyirov A. An experimental study of sunflower husk pellets combustion. BIO Web of Conferences. 2021; 37: 00070. https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700070
2. Jach-Nocoń M., Pełka G., Luboń W., Mirowski T., Nocoń A., Pachytel P. An Assessment of the Efficiency and Emissions of a Pellet Boiler Combusting Multiple Pellet Types. Energies. 2021; 14(15): 4465. https://doi.org/10.3390/en14154465
3. Zlateva P., Mileva N., Murzova M., Krumov K., Terziev A. Optimizing Sunflower Husk Pellet Combustion for B2B Bioenergy Commercialization. Energies. 2025; 18(15): 4189. https://doi.org/10.3390/en18154189
4. Mileva N., Zlateva P., Ivanov M., Krumov K., Terziev A., Comarla A. Numerical and Experimental Analyses of Flue Gas Emissions, from Biomass Pellet Combustion in a Domestic Boiler. Eng. 2025; 6(10): 257. https://doi.org/10.3390/eng6100257

5. Kougioumtzis M.A., Kanaveli I.P., Karampinis E., Grammelis P., Kakaras E. Combustion of olive tree pruning pellets versus sunflower husk pellets at industrial boiler. Monitoring of emissions and combustion efficiency. Renewable Energy. 2021; 171: 516–525. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.118
6. Juszczak M. Pollutant concentrations from a 15 kW heating boiler supplied with sunflower husk pellets. Environment Protection Engineering. 2012; 38(1): 35–43.
7. Rzeźnik W., Rzeźnik I., Mielcarek-Bocheńska P., Urbański M. Air Pollutants Emission during Co-Combustion of Animal Manure and Wood Pellets in 15 kW Boiler. Energies. 2023; 16(18): 6691. https://doi.org/10.3390/en16186691
8. Ciupek B., Nadolny Z. Emission of Harmful Substances from the Combustion of Wood Pellets in a Low-Temperature Burner with Air Gradation: Research and Analysis of a Technical Problem. Energies. 2024; 17(13): 3087. https://doi.org/10.3390/en17133087
9. Islamova S., Tartygasheva A., Karaeva J., Panchenko V., Litti Y. A Comprehensive Study on the Combustion of Sunflower Husk Pellets by Thermogravimetric and Kinetic Analysis, Kriging Method. Agriculture. 2023; 13(4): 840. https://doi.org/10.3390/agriculture13040840
10. 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
11. Sathupadi K., Achar S., Bhaskaran S.V., Faruqui N., Abdullah-Al-Wadud M., Uddin J. Edge-Cloud Synergy for AI-Enhanced Sensor Network Data: A Real-Time Predictive Maintenance Framework. Sensors. 2024; 24(24): 7918. https://doi.org/10.3390/s24247918
12. Kalogirou S.A. Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review. Progress in Energy and Combustion Science. 2003; 29(6): 515–566. https://doi.org/10.1016/S0360-1285(03)00058-3
13. Huang C. et al. Intelligent Deep Learning Modeling and Multi-Objective Optimization of Boiler Combustion System in Power Plants. Processes. 2025; 13(8): 2340. https://doi.org/10.3390/pr13082340
14. Cui Z., Jiang K., Chen W., Wang J., Niu Y. Digital twin enhanced hybrid modelling for main steam temperature optimization of flexible power plant. Energy. 2025; 335: 138132. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138132
15. Mižáková J., Piteľ J., Hošovský A., Pavlenko I., Ochowiak M., Khovanskyi S. Biomass Combustion Control in Small and Medium-Scale Boilers Based on Low Cost Sensing the Trend of Carbon Monoxide Emissions. Processes. 2021; 9(11): 2030. https://doi.org/10.3390/pr9112030
16. Janta-Lipińska S., Shkarovskiy A., Chrobak Ł. Improving the Fuel Combustion Quality Control System in Medium Power Boilers. Energies. 2024; 17(12): 3055. https://doi.org/10.3390/en17123055
17. Choiński B., Szatyłowicz E., Zgłobicka I., Joka Yildiz M. A Critical Investigation of Certificated Industrial Wood Pellet Combustion: Influence of Process Conditions on CO/CO_2 Emission. Energies. 2023; 16(1): 250. https://doi.org/10.3390/en16010250
18. Zlateva P., Terziev A., Krumov K., Murzova M., Mileva N. Research on the Combustion of Mixed Biomass Pellets in a Domestic Boiler. Fuels. 2025; 6(2): 40. https://doi.org/10.3390/fuels6020040

ОБ АВТОРАХ

Римма Валентиновна Ахметова
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции»
ahmetova_rv@bk.ru

Аскар Эдуардович Ахметов
студент
akhmetov.ae@mail.ru

Казанский государственный энергетический университет, ул. Красносельская, 51, Казань, 420066, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Rimma Valentinovna Akhmetova
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Electric Power Stations
ahmetova_rv@bk.ru

Askar Eduardovich Akhmetov
Student
akhmetov.ae@mail.ru

Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya st., Kazan, 420066, Russia

УДК 004.89:637.5.07

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-154-160

О.В. Зинина ✉

Е.А. Вишнякова

Я.В. Бушмелев

А.Е. Панченко

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

✉ *zininaov@susu.ru*

Поступила в редакцию: 01.07.2026

Одобрена после рецензирования: 10.08.2026

Принята к публикации: 26.08.2026

© Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Бушмелев Я.В., Панченко А.Е.

Алгоритм разработки интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птиц

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Обнаружение дефектов мяса птицы является актуальным направлением для исследователей во всем мире. Для этой цели находят все большее применение различные методы искусственного интеллекта. В статье приведены примеры и представлен анализ современных методов искусственного интеллекта и компьютерного зрения, применяемых для автоматизированного контроля качества тушек птицы на предприятиях агропромышленного комплекса. Выявлена необходимость комплексного подхода к решению задач контроля качества мяса птицы. Целью исследования является разработка алгоритма интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек цыплят-бройлеров в промышленных условиях.

Методы. Объектом разработки является интеллектуальная система выявления дефектов тушек цыплят-бройлеров. Для разработки алгоритма проведен анализ работы автоматизированной линии убоя и разделки тушек птицы на действующей птицефабрике. В качестве объектов исследования выступают цыплята-бройлеры кросса РОСС-308, направляемые на убой на 38–42-е сутки выращивания птицы.

Результаты. Поэтапная методология включает следующие этапы: сбор и аннотация изображений с двух ракурсов, классификация прижизненных и технологических дефектов, применение методов компьютерного зрения и сверточных нейронных сетей, аугментация данных, обучение модели YOLO11, синтез данных, создание пользовательского интерфейса и пилотное тестирование. Предложенный алгоритм направлен на повышение точности детекции, снижение трудозатрат и оптимизацию производственных процессов на птицефабриках. Представленный в статье алгоритм позволит успешно разработать и внедрить интеллектуальную систему определения дефектов тушек птицы, обеспечивая повышение качества продукции. Реализация данного проекта также поможет сформировать обширную базу данных дефектов тушек цыплят-бройлеров.

Ключевые слова: цыпленок-бройлер, дефект, анализ процесса, изображение, машинное обучение, нейронная сеть, мульти-видовая съемка

Для цитирования: Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Бушмелев Я.В., Панченко А.Е. Алгоритм разработки интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птицы. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 154–160.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-154-160

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-154-160

Oksana V. Zinina ✉

Elena A. Vishnyakova

Yaroslav V. Bushmelev

Alena E. Panchenko

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

✉ *zininaov@susu.ru*

Received by the editorial office: 01.07.2026

Accepted in revised: 10.08.2026

Accepted for publication: 26.08.2026

© Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Bushmelev Y.V., Panchenko A.E.

An algorithm for developing an intelligent system for detecting defects in poultry carcasses

ABSTRACT

Relevance. Detecting poultry meat defects is a relevant area for researchers worldwide. Various artificial intelligence methods are increasingly being used for this purpose. This article provides examples and an analysis of modern artificial intelligence and computer vision methods used for automated quality control of poultry carcasses in agro-industrial enterprises. The need for an integrated approach to solving poultry meat quality control problems is identified. The aim of the study is to develop an algorithm for an intelligent system for detecting defects in broiler chicken carcasses in an industrial setting.

Methods. The subject of this development is an intelligent system for detecting defects in broiler chicken carcasses. To develop the algorithm, an analysis of the operation of an automated slaughter and cutting line at an operating poultry farm was conducted. This study was conducted on ROSS-308 broiler chickens, sent for slaughter on days 38–42 of rearing.

Results. This paper presents a step-by-step methodology. It includes collecting and annotating images from two angles, classifying live and process defects, applying computer vision and convolutional neural network methods, data augmentation, training the YOLO11 model, data synthesis, creating a user interface, and pilot testing. The proposed algorithm aims to improve detection accuracy, reduce labor costs, and optimize production processes on poultry farms. The algorithm presented in this paper will enable the successful development and implementation of an intelligent system for detecting poultry carcass defects, improving product quality. This project will also help create a comprehensive database of broiler carcass defects.

Key words: broiler chicken, defect, process analysis, image, machine learning, neural network, multi-view imaging

For citation: Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Bushmelev Y.V., Panchenko A.E. An algorithm for developing an intelligent system for detecting defects in poultry carcasses. *Agrarian science*. 2026; 410(09): 154–160 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-154-160

Введение/Introduction

На предприятиях агропромышленного комплекса широко применяются различные методы искусственного интеллекта для решения актуальных производственных задач [1–4]. В частности, компьютерное и машинное зрение, основанные на анализе изображений и видеопотока при помощи технических и программных средств, используют для решения задач классификации, идентификации и определения различных параметров объекта по внешним признакам [5, 6].

Как показывают многочисленные научные публикации за последние пять лет, выявление дефектов мяса птицы остается актуальным направлением для исследователей во всем мире [7–10].

Рассмотрим подробнее разработанные интеллектуальные системы автоматизированного контроля качества тушек птицы. Отмечено, что в настоящее время разработка таких систем связана, в первую очередь, с обучением моделей на распознавание загрязнений, кровяных дефектов, переломов крыльев, остатков перьев, повреждений кожи и т.д. Внедрение подобных интеллектуальных систем значительно снижает трудозатраты птицеводов, сокращает расходы на выращивание птицы, повышает эффективность разведения и качество продукции [11].

Разработана конвейерная система производства тушек бройлеров, которая включает в себя осмотр, мониторинг и сортировку тушек и отдельных частей на основе методов компьютерного зрения для определения веса тушки бройлера. Модель показала высокую точность и надежность в определении веса тушек бройлеров с помощью двумерных изображений [12].

Другое исследование сосредоточено на выявлении дефекта «деревянная грудка» путем анализа изображений тушек с помощью программного обеспечения ImageJ[1]. Программа анализировала несколько параметров тушки птицы. Самая точная из разработанных моделей смогла с точностью 91% классифицировать тушки бройлеров [13, 14].

В ходе другого исследования по обнаружению «деревянной грудки» создан набор данных изображений для оценки состояния филе грудки бройлера с использованием структурированной отражательной визуализации (SIRI)[2] в качестве неразрушающего объективного метода оценки. Предлагаемый набор данных представляет собой первый общедоступный набор данных SIRI и, как ожидается, станет ценным ресурсом для развития SIRI в области оценки качества птицы [15].

Для автоматизации обнаружения дефектов и оценки качества тушек предлагается использовать систему, основанную на методах машинного обучения и компьютерного зрения. Для этого представлена сквозная структура под названием CarcassFormer[3]. Она построена на базе Transformer, предназначенной для эффективного извлечения визуальных представлений с одновременным обнаружением, сегментацией и классификацией дефектов тушек птицы. Предлагаемая структура способна анализировать дефекты, возникающие из-за проблем с производством и транспортировкой, а также неисправностей оборудования для оглушения и шпарки и другого оборудования на перерабатывающем предприятии. Данная структура отличается высокой способностью к захвату мелких деталей, включая перья, а также точной локализации и сегментации тушек [16].

Другое исследование использует технологию глубинной визуализации Kinect v2[4], трехмерную реконструкцию и машинное обучение для высокоточной оценки объема тушки курицы, что позволяет создать комплексную, эффективную и надежную систему оценки тушки курицы. Полученные глубинные изображения обрабатываются в облака точек с последующей трехмерной реконструкцией. Объем рассчитывается из реконструированных моделей с использованием метода поверхностной интеграции, а дополнительные двухмерные и трехмерные характеристики извлекаются в качестве входных параметров для моделей машинного обучения. Метод показал эффективность со средним временем обработки менее 1,6 с на тушку [17].

Целью другого исследования было представление метода классификации дефектов, связанных с остатками крови, основанного на гиперспектральной визуализации в сочетании со сверточными нейронными сетями (CNN). Модели классификации данного вида дефектов были разработаны на основе YOLOv4 и Faster R-CNN[5]. Технология гиперспектральной визуализации способна создавать различные спектральные изображения на разных длинах волн на основе различий в химических и физических свойствах образцов, что обеспечивает большое преимущество при идентификации визуально похожих, но различных составов и содержимого. Данная технология позволила с высокой точностью классифицировать кровяные дефекты на тушках птицы [18].

Существует исследование по выявлению септицемии у тушек бройлеров. Септицемия — это бактериальная инфекция в кровотоке живых

[1] https://imagej.net/

[2] Разработчиком SIRI_PoultryWB является Мичиганский государственный университет (США) под руководством проф. Yuzhen Lu

[3] Архитектура CarcassFormer разработана международной группой ученых и инженеров в области ИИ и агротехнологий. Оригинальное научное исследование и саму модель в 2024 году представил коллектив авторов: Minh Tran, Sang Truong, Arthur F. A. Fernandes, Michael T. Kidd, Ngan Le

[4] Разработчиками этой системы является группа учёных из Нанкинского сельскохозяйственного университета (Китай) во главе с проф. Kunjie Chen

[5] Разработчиками этого метода и модифицированных моделей классификации дефектов на основе YOLOv4 и Faster R-CNN является группа китайских учёных под руководством L. Duan

бройлеров, приводящая к покраснению тушек, обезвоженной коже или кровоизлияниям в органы. Исследование проведено с использованием системы спектральной камеры цветного изображения RGB в сочетании с машинным обучением для обнаружения тушек со следами септицемии. Анализ изображений проводился с помощью контролируемой обучающейся сети и сверточной нейронной сети для классификации изображений на нормальные и инфицированные. Два типа сверточных нейронных сетевых моделей, классифицированных со 100% точностью тестирования, усредняли с использованием наилучшей полученной модели. Результаты эксперимента показали точность более 95% [19].

В литературе отмечено, что при высокоскоростной обработке на конвейере, когда забивается более 12 000 цыплят-бройлеров в час, инспекция мяса цыплят-бройлеров является сложной задачей, поскольку трудоемка, отнимает много времени и утомительна для инспекторов. Компьютерное зрение может проводить инспекцию мяса цыплят-бройлеров при любой скорости убоя в течение любого времени и при этом показывает высокую точность и прозрачность получаемых результатов [20].

Компания Nord Clan[6] (Россия) разработала платформу для контроля качества продукции на основе машинного зрения и нейронных сетей ML Sense, которую внедрила «Птицефабрика Чамзинская» (Россия). Однако предлагаемая система работает только на выявлении дефектной продукции, без анализа возможных причин появления дефектов и предложений по корректирующим мероприятиям по снижению выпуска дефектной продукции.

При большом разнообразии существующих разработок по применению компьютерного зрения для оценки качества тушек птицы применение бесконтактной детекции по-прежнему сталкивается с рядом технических сложностей, таких как недостаточная точность распознавания, высокая потребность в оборудовании, ограничения по компоновке оборудования, уникальность методов получения изображений и ограничения, связанные с объектом исследования. Все эти проблемы ещё предстоит решить в ходе научных исследований [21].

Таким образом, анализ существующих разработок интеллектуальных систем автоматизированного контроля качества тушек птицы показал ограниченность их функций и во многих случаях достаточно узкую направленность на выявление конкретных дефектов или характеристик продукции, что подтверждает актуальность аналогичной разработки, но с более комплексным подходом к решению задач повышения эффективности контроля и производства в целом.

Целью данного исследования является разработка алгоритма по созданию интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птицы в промышленных условиях.

Материал и методы исследования / Material and methods

Объектом разработки является интеллектуальная система выявления дефектов тушек цыплят-бройлеров.

Для разработки алгоритма проведен анализ работы автоматизированной линии убоя и разделки тушек птицы на действующей птицефабрике (ООО «Нагайбакский птицеводческий комплекс», Челябинская область Российской Федерации).

Также собраны изображения различных образцов тушек птицы с физическими дефектами и без них для составления обширной классификации.

В качестве объектов исследования выступают цыплята-бройлеры кросса РОСС-308, направляемые на убой на 38–42-е сутки выращивания птицы.

При сортировке тушек в зависимости от качества обработки предусмотрено разделение на 1-й, 2-й сорт и несортовое мясо, подлежащее промышленной переработке, согласно ГОСТ 31962-2013[7].

Предлагаемый алгоритм разработан на основе данных, собранных на одной птицефабрике, с использованием одной породы (кросс РОСС-308) и фиксированных условий съемки (два ракурса, статичное освещение). Это ограничивает обобщаемость модели для других кроссов, возрастных групп или производственных линий с иной конфигурацией оборудования. На момент публикации представлены только методологические этапы; экспериментальная валидация точности детекции и устойчивости к вариациям внешних факторов (освещенность, запыленность, скорость конвейера) не проводилась. Указанные ограничения предполагается преодолеть на этапах пилотного тестирования и дообучения модели на расширенном датасете, что будет предметом дальнейших публикаций.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Процесс разработки интеллектуальная система выявления дефектов тушек цыплят-бройлеров можно разделить на несколько этапов.

На первом этапе предполагается сбор данных. Данный этап проводится на действующей птицефабрике. Предполагается сбор изображений различных образцов тушек птицы с физическими дефектами и без них. Фиксация изображений происходит с помощью двух камер (со стороны грудной части и спинной части тушки) высокого разрешения. Каждое изображение будет содержать

[6] https://mlsense.nordclan.com/about/
[7] ГОСТ 31962-2013 Мясо кур (тушки кур, цыплят-бройлеров и их части). Технические условия

метаданные о дефектах, возможных причинах их появления и необходимых корректирующих мероприятиях для их устранения.

Все дефекты будут разделены на группы прижизненных и технологических дефектов и подгруппы в зависимости от факторов, их вызывающих, с условным кодированием категорий дефектов.

На втором этапе предусмотрена обработка изображений для обучения нейронной сети. Для предобработки изображений, включая коррекцию освещения, фильтрацию шумов и выделение ключевых признаков, используются методы компьютерного зрения, а для разделения изображений на отдельные участки для более точного определения дефектов — алгоритмы сегментации. Обработка изображений проводится методами кластеризации, сегментации на основе градиента, а также сегментации и категоризации данных с использованием сверточных нейронных сетей (CNN), которые способны обучаться на размеченных данных.

Для формирования датасета полученные изображения будут размечены с помощью сервиса Roboflow[8]. Так как на производстве нет возможности оперативно собрать необходимую выборку изображений, то к полученному датасету будут применены методы аугментации: изменение ориентации и перспективы изображения по вертикали и горизонтали, изменение контрастности и насыщенности.

Сформированная выборка из 600 изображений разделится на обучающий, валидационный и тестовый наборы.

Следует отметить, что создание набора данных о дефектах тушек птицы само по себе является важным и актуальным направлением исследований, поскольку ограничены разработки крупномасштабных общедоступных наборов таких данных [22]. Например, в открытом доступе можно найти базу данных качества мяса птицы (хорошее и плохое), созданную на основе фотографий мяса птицы, сделанных на мобильный телефон [23]. Также разработана система автоматической оценки качества куриного мяса на основе набора данных формы и текстуры мяса [24]. В области классификации дефектов тушек, снижающих сортность и приводящих к выбраковке мяса, проведена масштабная работа по выявлению дефектов цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres с применением диаграммы Исикавы, Парето, ABC-анализа и кластерного анализа [25].

На следующем этапе разработка интеллектуальной системы происходит обучение и тестирование моделей машинного обучения для автоматической классификации изображений по критериям качества. Модели будут обучаться на размеченных данных для автоматического выявления дефектов. На языке программирования Python будет обучена модель YOLO11 на размеченном ранее датасете. Для итеративного улучшения работы модели планируется применить метод кросс-валидации для повышения ее точности и надежности.

Используемые параметры обучения для YOLO11: размер входного изображения (imgsz) — 640×640 пикселей; batch size (batch) — 16; learning rate (lr0) — для оптимизатора SGD составляет 0,01, а для Adam/AdamW — 0,001. Количество слоев в CNN — 181.

В общем виде методика обработки изображения представлена на рис. 1.

Для оценки эффективности моделей классификации будут использованы такие показатели как: точность; средневзвешенная точность; полнота; показатель F1 Score; ROC-кривая и AUC — Area Under the Curve, площадь под ROC-кривой, которая позволяет оценить, насколько хорошо модель различает классы; матрица ошибок.

При выявлении часто допускаемых критических ошибок при идентификации объектов на изображении будет сгенерирован синтетический набор данных, который расширит обучающую выборку и позволит автоматически создать крупное множество изображений за короткий срок. Будет создан датасет схожего размера с различными видами дефектов с учетом посторонних изображений, ракурсами камеры,

Рис. 1. Схема обработки изображения
Fig. 1. Image processing circuit

[8] https://roboflow.com/

возможными эффектами. По полученным синтетическим данным будет обучена вторая модель нейронной сети с теми же параметрами и проверена эффективность ее работы для возможности использования для обучения.

После тестирования модели планируется разработка интерфейса и визуализация. Создание интуитивно понятного интерфейса необходимо для взаимодействия пользователя с системой с реализацией алгоритмов визуализации для наглядного представления результатов анализа.

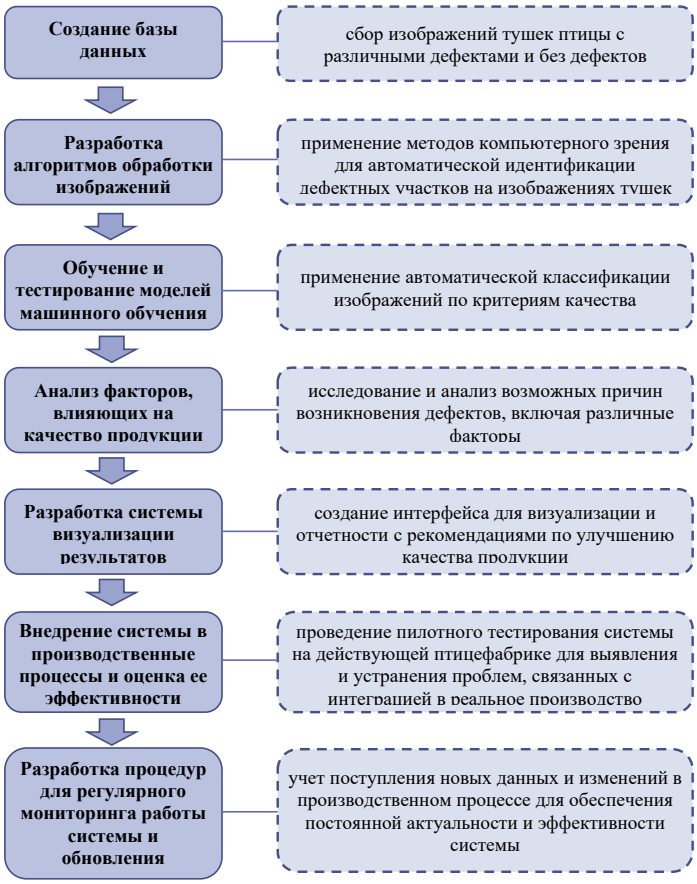
На последнем этапе разработки интеллектуальной системы планируется пилотное тестирование для оценки работы системы в реальных условиях, которое будет проведено на птицефабрике для выявления и устранения проблем, связанных с интеграцией системы в реальное производство, а также для получения обратной связи от пользователей.

В случае необходимости будет проведена корректировка работы системы.

На рисунке 2 представлен подробный алгоритм разработки интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птицы, на рисунке 3 — обобщенный.

Таким образом, последовательное выполнение приведенного алгоритма позволит успешно разработать и внедрить интеллектуальную систему выявления дефектов тушек птицы, обеспечивая повышение качества продукции и оптимизацию производственных процессов на птицефабриках.

Рис. 2. Алгоритм разработки интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птицы
Fig. 2. Proposed algorithm for the development of an intelligent system for detecting defects in poultry carcasses



Выводы/Conclusion

Разработка интеллектуальной системы для выявления дефектов тушек птицы представляет собой важный шаг в интеграции современных технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, в процессы контроля качества в птицеперерабатывающей промышленности. Это открывает новые горизонты для автоматизации и повышения точности процессов, что может являться основой для дальнейших научных исследований в области автоматизации агропромышленного комплекса.

Интеллектуальные системы контроля качества продукции могут существенно повысить эффективность производственных процессов, снизить

Рис. 3. Обобщенный алгоритм
Fig. 3. Generalized algorithm

затраты на ручной труд и минимизировать человеческие ошибки, что особенно важно для крупных птицефабрик и перерабатывающих предприятий.

Проведенный анализ современных методов (CNN, YOLO, гиперспектральная визуализация, CarcassFormer и др.) подтвердил перспективность применения компьютерного зрения для контроля качества мяса птицы.

При этом выявлена главная проблема существующих решений — их узкая направленность на единичные дефекты, что обосновывает необходимость разработки комплексной интеллектуальной системы.

Предложен и научно обоснован поэтапный алгоритм, охватывающий полный цикл создания системы: от сбора и аннотации бинарного датасета (вид спереди/сзади) с использованием сервиса Roboflow до обучения модели YOLO11, синтеза данных для расширения выборки и проектирования пользовательского интерфейса.

Особую практическую значимость работы представляет собой системный подход к классификации дефектов (прижизненные и технологические), который позволяет не только детектировать брак, но и анализировать его первопричины. Реализация алгоритма позволит сформировать уникальную базу данных дефектов тушек бройлеров кросса РОСС-308.

Разработанный алгоритм является теоретической и методологической основой для создания промышленного прототипа интеллектуальной системы, что подтверждает целесообразность дальнейших исследований в области автоматизации агропромышленного комплекса с использованием ИИ.

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 № 26-26-20027, https://rscf.ru/project/26-26-20027/

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation № 26-26-20027, https://rscf.ru/project/26-26-20027/

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sarkar T. *et al.* Application of bio-inspired optimization algorithms in food processing. *Current Research in Food Science*. 2022; 5: 432–450. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.006
2. Sarkar T. *et al.* Expert Knowledge-Based System for Shelf-Life Analysis of Dairy Cheese Ball (Rasgulla). *Food Analytical Methods*. 2022; 15(7): 1945–1960. https://doi.org/10.1007/s12161-022-02261-y
3. Sarkar T. *et al.* Quality Assessment of Tindora (*Coccinia indica*) Using Poincare Plot and Cartesian Quadrant Analysis. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(9): 2357–2371. https://doi.org/10.1007/s12161-022-02287-2
4. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(11): 3045–3078. https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9
5. Li G. *et al.* Practices and Applications of Convolutional Neural Network-Based Computer Vision Systems in Animal Farming: A Review. *Sensors*. 2021; 21(4): 1492. https://doi.org/10.3390/s21041492
6. *Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов* М.Б. Разработка алгоритма оценки антиоксидантных свойств экстрактов вишни методами искусственного интеллекта. *Аграрная наука*. 2025; (8): 136–143. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-136-143
7. Мелещеня А.В., Ходорева О.Г., Марченко К.А. Расширение возможностей рационального использования тушек цыплят-бройлеров с дефектами обработки. *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2024; 17(4): 6–15. EDN RCNJPH
8. Демидова Т.Н., Пашкина Ю.В., Вирзум Л.В., Трубина Т.В., Останаев М.Х. Технологические пороки, снижающие качество и сортность птицепродуктов. *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии.* 2025; (2): 93–97. EDN SRYWAF
9. Фетисов А.В. Влияние технологического процесса на дефекты, связанные с производством мяса бройлеров. *Научные проблемы производства продукции животноводства и улучшения ее качества. Материалы XXXIX научно-практической конференции студентов и аспирантов.* Брянск: Брянский ГАУ. 2024; 364–369. EDN BWSMCT
10. Якушкин И.В. Метод изучения технологических пороков мяса для анализа изменений качества продукции на различных этапах переработки убойных животных и птицы. *Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО Омский ГАУ: серия «Ветеринария». Сборник материалов по итогам научно-исследовательской деятельности.* Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина. 2025; 1: 136–137. EDN BJTAGF
11. He X., Xue H., Jia Y., Xie Z., Li L. Progress and trends of non-contact detection methods for poultry growth information: A review. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105281. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105281
12. Nyalala I. *et al.* On-line weight estimation of broiler carcass and cuts by a computer vision system. *Poultry Science*. 2021; 100(12): 101474. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101474
13. Caldas-Cueva J.P., Mauromoustakos A., Sun X., Owens C.M. Detection of woody breast condition in commercial broiler carcasses using image analysis. *Poultry Science*. 2021; 100(4): 100977. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.074
14. Caldas-Cueva J.P., Mauromoustakos A., Sun X., Owens C.M. Use of image analysis to identify woody breast characteristics in 8-week-old broiler carcasses. *Poultry Science*. 2021; 100(4): 100890. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.003

REFERENCES

1. Sarkar T. *et al.* Application of bio-inspired optimization algorithms in food processing. *Current Research in Food Science*. 2022; 5: 432–450. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.006
2. Sarkar T. *et al.* Expert Knowledge-Based System for Shelf-Life Analysis of Dairy Cheese Ball (Rasgulla). *Food Analytical Methods*. 2022; 15(7): 1945–1960. https://doi.org/10.1007/s12161-022-02261-y
3. Sarkar T. *et al.* Quality Assessment of Tindora (*Coccinia indica*) Using Poincare Plot and Cartesian Quadrant Analysis. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(9): 2357–2371. https://doi.org/10.1007/s12161-022-02287-2
4. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(11): 3045–3078. https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9
5. Li G. *et al.* Practices and Applications of Convolutional Neural Network-Based Computer Vision Systems in Animal Farming: A Review. *Sensors*. 2021; 21(4): 1492. https://doi.org/10.3390/s21041492
6. Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B. Development of an algorithm for assessing the antioxidant properties of cherry extracts using artificial intelligence methods. *Agrarian science*. 2025; (8): 136–143 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-136-143
7. Meliashchenia A.V., Khodoreva O.G., Marchenko K.A. Expanding opportunities for rational use of broiler chicken carcasses with processing defects. *Food Industry: Science and Technology*. 2024; 17(4): 6–15 (in Russian). EDN RCNJPH
8. Demidova T.N., Pashkina Yu.V., Virzum L.V., Trubina T.V., Ostanaev M.Kh. Technological defects that reduce the quality and grade of poultry products. *Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*. 2025; (2): 93–97 (in Russian). EDN SRYWAF
9. Fetisov A.V. Influence of the technological process on defects associated with broiler meat production. *Scientific problems of livestock production and improvement of its quality. Proceedings of the XXXIX scientific and practical conference of students and postgraduates*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2024; 364–369 (in Russian). EDN BWSMCT
10. Iakushkin I.V. A method for studying technological defects in meat to analyze changes in product quality at various stages of processing slaughtered animals and poultry. *Catalog of scientific and innovative developments of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Omsk State Agrarian University: series "Veterinary Science". Collection of materials based on the results of research activities*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 2025; 1: 136–137 (in Russian). EDN BJTAGF
11. He X., Xue H., Jia Y., Xie Z., Li L. Progress and trends of non-contact detection methods for poultry growth information: A review. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105281. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105281
12. Nyalala I. *et al.* On-line weight estimation of broiler carcass and cuts by a computer vision system. *Poultry Science*. 2021; 100(12): 101474. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101474
13. Caldas-Cueva J.P., Mauromoustakos A., Sun X., Owens C.M. Detection of woody breast condition in commercial broiler carcasses using image analysis. *Poultry Science*. 2021; 100(4): 100977. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.074
14. Caldas-Cueva J.P., Mauromoustakos A., Sun X., Owens C.M. Use of image analysis to identify woody breast characteristics in 8-week-old broiler carcasses. *Poultry Science*. 2021; 100(4): 100890. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.003

15. Lu Y., Sardari H. A structured-illumination reflectance imaging dataset for woody breast assessment of broiler meat. *Data in Brief*. 2025; 60: 111612. https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111612
16. Tran M., Truong S., Fernandes A.F.A., Kidd M.T., Le N. CarcassFormer: an end-to-end transformer-based framework for simultaneous localization, segmentation and classification of poultry carcass defect. *Poultry Science*. 2024; 103(8): 103765. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103765
17. Nyalala I., Jiayu Z., Zixuan C., Junlong C., Chen K. Online chicken carcass volume estimation using depth imaging and 3-D reconstruction. *Poultry Science*. 2024; 103(12): 104232. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104232
18. Duan L. *et al.* Classification of Chicken Carcass Breast Blood-Related Defects Using Hyperspectral Imaging Combined with Convolutional Neural Networks. *Foods*. 2024; 13(23): 3745. https://doi.org/10.3390/foods13233745
19. Black M.T. *et al.* Identification and classification of broiler carcasses exhibiting septicemia-toxemia using spectral imaging systems. *Food Control*. 2026; 179: 111532. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111532
20. Sandberg M. *et al.* Applications of computer vision systems for meat safety assurance in abattoirs: A systematic review. *Food Control*. 2023; 150: 109768. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109768
21. He X., Xue H., Jia Y., Xie Z., Li L. Progress and trends of non-contact detection methods for poultry growth information: A review. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105281. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105281
22. Li G. A survey of open-access datasets for computer vision in precision poultry farming. *Poultry Science*. 2025; 104(2): 104784. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104784
23. Sarkar T., Choudhury T., Bansal N., Madan R. Dataset for Chicken Quality Evaluation. *Mendeley Data*. 2023; V1. https://doi.org/10.17632/7bbph66tn9.1
24. Madan R., Choudhury T., Sarkar T., Bansal N., Toe T.T. Chicken Quality Evaluation Using Deep Learning. Rathore V.S., Piuri V., Babo R., Ferreira M.C. (eds.). *Emerging Trends in Expert Applications and Security. Proceedings of 2nd ICETEAS 2023*. Singapore: Springer. 2023; 2; 381–391 https://doi.org/10.1007/978-981-99-1946-8_34
25. Сайфульмулюков Э.Р., Мифтахутдинов А.В. Повышение эффективности контроля качества тушек цыплят-бройлеров на фоне применения фармакологических средств для коррекции и профилактики предубойных стрессов. *Контроль качества и безопасность пищевой продукции.* 2022; (2): 27–35. https://doi.org/10.31677/2311-0651-2022-36-2-27-35

15. Lu Y., Sardari H. A structured-illumination reflectance imaging dataset for woody breast assessment of broiler meat. *Data in Brief*. 2025; 60: 111612. https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111612
16. Tran M., Truong S., Fernandes A.F.A., Kidd M.T., Le N. CarcassFormer: an end-to-end transformer-based framework for simultaneous localization, segmentation and classification of poultry carcass defect. *Poultry Science*. 2024; 103(8): 103765. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103765
17. Nyalala I., Jiayu Z., Zixuan C., Junlong C., Chen K. Online chicken carcass volume estimation using depth imaging and 3-D reconstruction. *Poultry Science*. 2024; 103(12): 104232. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104232
18. Duan L. *et al.* Classification of Chicken Carcass Breast Blood-Related Defects Using Hyperspectral Imaging Combined with Convolutional Neural Networks. *Foods*. 2024; 13(23): 3745. https://doi.org/10.3390/foods13233745
19. Black M.T. *et al.* Identification and classification of broiler carcasses exhibiting septicemia-toxemia using spectral imaging systems. *Food Control*. 2026; 179: 111532. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111532
20. Sandberg M. *et al.* Applications of computer vision systems for meat safety assurance in abattoirs: A systematic review. *Food Control*. 2023; 150: 109768. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109768
21. He X., Xue H., Jia Y., Xie Z., Li L. Progress and trends of non-contact detection methods for poultry growth information: A review. *Poultry Science*. 2025; 104(9): 105281. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105281
22. Li G. A survey of open-access datasets for computer vision in precision poultry farming. *Poultry Science*. 2025; 104(2): 104784. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104784
23. Sarkar T., Choudhury T., Bansal N., Madan R. Dataset for Chicken Quality Evaluation. *Mendeley Data*. 2023; V1. https://doi.org/10.17632/7bbph66tn9.1
24. Madan R., Choudhury T., Sarkar T., Bansal N., Toe T.T. Chicken Quality Evaluation Using Deep Learning. Rathore V.S., Piuri V., Babo R., Ferreira M.C. (eds.). *Emerging Trends in Expert Applications and Security. Proceedings of 2nd ICETEAS 2023*. Singapore: Springer. 2023; 2; 381–391 https://doi.org/10.1007/978-981-99-1946-8_34
25. Sayfulmulyukov E.R., Miftakhutdinov A.V. Improving the quality control of broiler chicken carcasses through the use of pharmacological agents for the correction and prevention of pre-slaughter stress. *Innovations and Food Safety*. 2022; (2): 27–35 (in Russian). https://doi.org/10.31677/2311-0651-2022-36-2-27-35

ОБ АВТОРАХ

Оксана Владимировна Зинина
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры пищевых и биотехнологий
zininaov@susu.ru
https://orcid.org/0000-0003-4817-1645

Елена Александровна Вишнякова
аспирант
l_vishny@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8557-9239

Ярослав Викторович Бушмелев
программист отдела научных исследований — R&D-участок
bushmeleviv@susu.ru
https://orcid.org/0009-0002-9159-6999

Алена Евгеньевна Панченко
программист отдела научных исследований — R&D-участок
panchenkoae@susu.ru
https://orcid.org/0009-0006-3653-5543

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

ABOUT THE AUTHORS

Oksana Vladimirovna Zinina
Doctor of Technical Sciences, associate professor,
Professor of the Department of Food and Biotechnology
zininaov@susu.ru
https://orcid.org/0000-0003-4817-1645

Elena Aleksandrovna Vishnyakova
postgraduate student
l_vishny@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8557-9239

Yaroslav Viktorovich Bushmelev
Programmer of the Scientific Research Department — R&D Section
bushmeleviv@susu.ru
https://orcid.org/0009-0002-9159-6999

Alena Evgenevna Panchenko
Programmer of the Scientific Research Department — R&D Section
panchenkoae@susu.ru
https://orcid.org/0009-0006-3653-5543

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

УДК 663.674

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-161-169

А.В. Ландиховская ✉

П.Б. Ситникова

Н.В. Казакова

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия.

✉ *a.landihovskaya@fncps.ru*

Поступила в редакцию: 18.03.2026

Одобрена после рецензирования: 10.08.2026

Принята к публикации: 26.08.2026

© Ландиховская А.В., Ситникова П.Б., Казакова Н.В.

Влияние овощных и фруктовых сиропов на качество и хранимоспособность мороженого с высоким содержанием жира

РЕЗЮМЕ

Цель исследования — установить возможность полной замены сахарозы на фруктовые и овощные сиропы при изготовлении мороженого с массовой долей молочного жира 12%. Задачи исследования: определить влияние данного вида сырья на показатели качества мороженого в процессе производства и длительного (свыше 12 мес.) хранения, провести дегустационную оценку выработанной продукции для определения приемлемости профиля сладости относительно привычного уровня в традиционном мороженом с сахарозой. Объект исследования — мороженое с содержанием молочного жира 12%. Контрольный образец мороженого содержал 14% сахарозы, в опытных образцах мороженого она была заменена на фруктовые и овощные сиропы в эквивалентном количестве по сухому веществу. Внесение сиропов не оказывает существенного влияния на показатель «взбитость». Использование сиропов финикового и кэроба сказывается на кислотности готового мороженого — приводит к увеличению в 2 и 2,5 раза титруемой кислотности по сравнению с контрольным образцом. В опытных образцах криоскопическая температура на 0,56–1,22 °С или на 20–44% ниже, чем в контрольном. Использование сиропов приводит к увеличению динамической вязкости смеси в 1,1–2,6 раза в зависимости от вида сиропа. Опытные образцы были значительно мягче контрольного. Наименьший индукционный период характерен для образцов с использованием сахарозы и голубой агавы. Индукционный период в мороженом с сиропом топинамбура выше в 1,2 раза, чем у контрольного, а в образцах с сиропами финиковым и кэроба — в 1,5 и 2,2 раза.

Ключевые слова: мороженое, сахара, хранение, окисление жировой фазы, лактоза, кристаллы льда

Для цитирования: Ландиховская А.В., Ситникова П.Б., Казакова Н.В. Влияние овощных и фруктовых сиропов на качество и хранимоспособность мороженого с высоким содержанием жира. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 161–169. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-161-169

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-161-169

Anna V. Landikhovskaya ✉

Polina B. Sitnikova

Natalia V. Kazakova

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry — Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia

✉ *a.landihovskaya@fncps.ru*

Received by the editorial office: 18.03.2026

Accepted in revised: 10.08.2026

Accepted for publication: 26.08.2026

© Landikhovskaya A.V., Sitnikova P.B., Kazakova N.V.

Effect of vegetable and fruit syrups on the quality and storage of high-fat ice cream

ABSTRACT

The objective of this study was to establish the feasibility of completely replacing sucrose with fruit and vegetable syrups in the production of ice cream with a milk fat content of 12%. The objectives of the study were to determine the impact of this raw material on ice cream quality during production and long-term (over 12 months) storage, and to conduct a tasting evaluation of the finished product to determine the acceptability of the sweetness profile relative to the typical level of traditional sucrose-based ice cream. The object of the study was ice cream with a milk fat content of 12%. The control ice cream sample contained 14% sucrose; in the experimental ice cream samples, it was replaced with fruit and vegetable syrups in equivalent amounts based on dry matter. The addition of syrups did not significantly affect the overrun parameter. The use of date and carob syrups affected the acidity of the finished ice cream, leading to a 2- and 2.5-fold increase in titratable acidity compared to the control sample. In the test samples, the cryoscopic temperature was 0.56–1.22 °C, or 20–44% lower, than in the control. The use of syrups increased the dynamic viscosity of the mixture by 1.1 to 2.6 times, depending on the syrup type. The test samples were significantly softer than the control. The shortest induction period was observed for the samples containing sucrose and blue agave. The induction period in ice cream with Jerusalem artichoke syrup was 1.2 times longer than that of the control, and in samples with date and carob syrups, it was 1.5 and 2.2 times longer.

Key words: ice cream, fruit syrups, vegetable syrups, quality indicators, storage

For citation: Landikhovskaya A.V., Sitnikova P.B., Kazakova N.V. Effect of vegetable and fruit syrups on the quality and storage of high-fat ice cream. *Agrarian science*. 2026; 410(09): 161–169 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-161-169

Введение/Introduction

В связи с возросшим количеством случаев сахарного диабета в России и за рубежом существует необходимость снижения добавленных сахаров в продуктах питания. Мороженое — сладкий, взбитый замороженный продукт с высоким содержанием сахарозы. Возможность полного исключения сахаров в технологии производства мороженого не предусмотрена, поскольку сахара играют важную роль в создании вкуса продукта, а также влияют на формирование структуры мороженого в процессе производства и хранения. Одним из путей снижения доли вносимого сахара может быть замена сахарозы на подсластители с более высоким уровнем сладости, в частности это могут быть фруктовые и овощные сиропы с входящими в их состав натуральными сахарами. Однако широкая распространенность этих продуктов в качестве подсластителей может быть ограничена местом произрастания сырья для их производства.

Для подслащивания продуктов питания в Юго-Восточной и Южной Азии, а также в ряде других стран используют нерафинированный сахар из пальмового сока. В качестве источника сырья используют пальму пальмиры, финиковую пальму, сахарную пальму *и др.* Пальмовый сахар производят в виде твердых сахарных блоков, жидкого сахара или в виде частиц сахара-песка. Ожидалось, что «к 2025 году доля мировой индустрии пальмового сахара будет оцениваться почти в 2205,8 млн долларов США». [1]. Каждые 100 г плодов фиников позволяют получить при переработке 52–64 г финикового сиропа, 17–24 г жмыха с остаточным содержанием сахаров и 8–15 г семян [2, 3]. Финиковый сироп содержит не только сахара (глюкозу, фруктозу и сахарозу), но и состоит из белков, клетчатки и минералов (фосфора железа, калия и кальция). Кроме того, этот сироп является богатым источником антиоксидантов, которые содержат в себе флавоноиды, фенольные кислоты, аскорбиновую кислоту и каротиноиды, употребление которых положительно сказывается на здоровье [4, 5]. Djaoud K. с соавторами использовали финиковый сироп и финиковый порошок при производстве молочных десертов [6]. Sameen A. с коллегами проводили исследование по возможности использования финикового сиропа в производстве мороженого. Количество сиропа варьировалось от 0 до 100%, уровень сахарозы в продукте при этом снижался пропорционально. Авторы установили, что увеличение количества сиропа в рецептуре приводило к повышению вязкости смеси и взбитости мороженого, но при этом скорость таяния в продукте снижалась [7].

Для придания сладкого вкуса продуктам также используют сироп кэроба, содержание сухих веществ в котором варьируется от 50 до 80%. Для него характерно высокое содержание углеводов, минералов и аминокислот [8]. Кроме того, в продуктах, произведенных из рожкового дерева, определено высокое содержание фенольных кислот, из которых преобладает галловая [9]. Omrani A. с коллегами при проведение научного исследования отметили положительное влияние сиропа кэроба по усилению антиоксидантных свойств йогурта из верблюжьего молока [10].

В настоящее время среди потребителей, предпочитающих органические, функциональные и диабетические продукты питания, популярным становится сироп агавы, известный также как концентрат сока или нектара агавы, с высоким содержанием фруктозы (от 70 до 90%). Также данный сироп содержит биоактивные соединения, минералы, фруктаны. Сейчас его используют в хлебопекарной и кондитерской промышленности, а также при производстве напитков [11]. Сироп агавы также имеет низкий гликемический индекс — от 13 до 27 единиц, а его подслащивающая способность больше, чем у меда [12]. Голубая агава и агава Салма имеют различия в углеводном составе [13]. Наибольшее количество сиропа при производстве дают растения голубой агавы, возраст которых составляет 5–7 лет [14].

Также для ряда стран интерес представляет использование кленового сиропа. Крупнейшим производителем кленового сиропа является Канада, на долю которой приходится производство более 70% такой продукции. Кленовый сироп является более здоровой заменой сахарозы, он имеет хороший минеральный состав и обладает высоким содержанием фенольных соединений, обладающих биоактивными свойствами [15]. В исследовательской работе [16] Saadi и соавторы изучали влияние частичной (различные соотношения) и полной замены сахарозы на кленовый сироп при производстве молочного мороженого, по результатам исследования кленовый сироп рекомендован авторами работы в качестве полной замены сахарозы.

Toufeili I. с соавторами [17] установил, что сироп кэроба обладает более высоким антиоксидантным потенциалом, чем финиковый и кленовые сиропы, что объясняется более высоким содержанием белков, минералов, фенольных кислот и флавоноидов.

Для производства высокофруктозных сиропов в качестве сырья также используется топинамбур [18]. Сироп топинамбура содержит минеральные вещества, витамины, является источником органических кислот. Клубни топинамбура содержат высокое количество фруктанов, благодаря чему их содержание в сиропе из него выше, чем в сиропах клена или агавы [19].

Таким образом, фруктовые и овощные сиропы — натуральный источник сахаров, преимущественно представленных фруктозой и глюкозой. Они имеют низкий гликемический индекс и содержат полезные вещества. В целом, использование сиропов в качестве полной замены сахарозы в отрасли производства мороженого представляет из себя перспективное направление. Но замена

ингредиентов способна отрицательно сказаться на показателях качества готового продукта и его хранимоспособности. Это обусловлено тем, что формирование структуры мороженого и его хранение происходит при отрицательных температурах.

Цель исследования — установить возможность полной замены сахарозы на фруктовые и овощные сиропы при изготовлении мороженого с массовой долей молочного жира 12%.

Задачи исследования: определить влияние данного вида сырья на показатели качества мороженого в процессе производства и длительного (свыше 12 мес.) хранения, провести дегустационную оценку выработанной продукции для определения приемлемости профиля сладости относительно привычного уровня в традиционном мороженом с сахарозой.

Материал и методы исследования / Material and methods

Образцы мороженого вырабатывали на экспериментальном стенде лаборатории технологии мороженого во Всероссийском научно-исследовательском институте холодильной промышленности (ВНИХИ) — филиале ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук (Москва, Россия).

Для исследования были выработаны образцы мороженого с содержанием молочного жира 12%.

Количество СОМО в образцах было 10%, стабилизационная система вносилась из расчета 4,0 г на 1 кг смеси.

Контрольный образец (1) мороженого содержал 14% сахарозы по сухому веществу, в опытных образах мороженого сахароза была заменена на фруктовые и овощные сиропы в эквивалентном количестве: 2 — финиковый, 3 — голубой агавы, 4 — топинамбура и 5 — кэроба.

В качестве сырья для производства мороженого использовали масло сливочное с массовой долей жира 82,5% (ГОСТ 32261–2013[1], АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н.В. Верещагина, Россия), молоко сухое обезжиренное (ГОСТ Р 52791–2007[2], АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н.В. Верещагина, Россия), сахар белый ГОСТ 33222–2015[3], (ТМ «Русский сахар», Россия), пекмез из плодов рожкового дерева (Merter Helva San.Tic. A.S., Турция), сироп топинамбура (ТУ 11.07.19-002-2015662944-2022, ИП Егоров С.Ю, Россия), сироп из голубой агавы (Industrializadora Integral Del Agave S.A.P.I De Cv, Мексика) и финиковый сироп (ООО «Позитив», Россия), CREMODAN® SE 334 VEG (Danisco, Дания).

Мороженое вырабатывали на экспериментальном стенде ВНИХИ. Экспериментальный стенд представляет собой совокупность лабораторного оборудования, которое позволяет воспроизводить все стадии технологического процесса аналогично предприятиям отрасли.

Сухие компоненты смешивали с жидкими, затем смесь пастеризовали при температуре 83 ± 1 °С без выдержки. После фильтрации смесь гомогенизировали (давление на первой ступени 12 МПа, на второй ступени 5 МПа), затем охлаждали и оставляли на созревание при температуре 4 ± 2 °С. Смесь фризеровали на фризере периодического действия LABO 8/12 XPL P (CARPIGIANI, Италия) с установленным параметром консистенции на уровне «85». Закаливание мороженого проводили при температуре минус 30 °С в морозильной камере (Stinol, Россия).

Мороженое хранили при стабильной температуре минус 19 ± 1 °С в морозильном ларе F 700 S (Frostor, Россия).

Взбитость мягкого мороженого определяли по методике, описанной в ГОСТ 31457-2012[4], титруемую кислотность — по ГОСТ Р 54669-2011[5], активную — по ГОСТ 32892-2014[6].

Эффективную вязкость смеси оценивали до и после созревания с использованием вискозиметра Brookfield DV II+ Pro (Brookfield Engineering Laboratories, Inc, США) при поддержании постоянной температуры на уровне 4 ± 0,5 °С. Криоскопическую температуру фиксировали на осмометре-криоскопе ОСКР-1 (ИП Кирсанов В.И. Россия). Методы термостатирования использовали при определении термо- и формоустойчивости образцов [20].

Дисперсность воздушной и жировой фазы, кристаллов льда, наличие лактозы в процессе хранения образцов фиксировали с использованием микроскопа Olympus (Япония) и с/без использования температурного столика Linkam (Linkam Scientific Instruments, Великобритания).

Подсчет кристаллов льда проводили в программе ImageScope (Leica Biosystems, Германия), размеры воздушных пузырьков определяли с помощью программы автоматического подсчета [21].

Индукционный период окисления жиров измеряли на анализаторе окислительной стабильности OXITEST (VELP Scientifica, Италии).

Сахара в сиропах определяли хроматографическим методом по ГОСТ 8756.13-87[7].

При проведении органолептической оценки образцов мороженого за основу был взят ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011[8], дегустационная комиссия

[1] ГОСТ 32261-2013 Мороженое сливочное. Технические условия
[2] ГОСТ Р 52791-2007 Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия
[3] ГОСТ 33222-2015 Сахар белый. Технические условия
[4] ГОСТ 31457-2012 Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия
[5] ГОСТ Р 54669-2011 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности.
[6] ГОСТ 32892-2014 Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности
[7] ГОСТ 8756.13-87 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров
[8] ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки

состояла из 7 человек с квалификацией «отобранный дегустатор». Максимальный балл составлял 10. Баллы по показателям были распределены следующим образом: «вкус и аромат» — 6 баллов, «структура и консистенция» — 3 балла, «цвет и внешний вид» — 1 балл.

Обработку данных и построение графиков проводили с использованием программ Past 4.03 Microsoft Excel (США). Для оценки статистически значимых различий между образцами задействовали однофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Для попарного сравнения выборок применяли апостериорный критерий Тьюки. Статистически значимый результат оценивали при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе работы определяли качественный и количественный состав сахаров в каждом сиропе (рис. 1, табл. 1).

На основании полученных данных рассчитана относительная сладость (по сахарозе), характерная для каждого образца мороженого. Отмечено, что уровень сладости в образце с сиропом агавы (3) сопоставим со сладостью контрольного образца (1). В остальных опытных образцах сладость ниже: на 28% — в образце 2, на 42 и 50 % — в образцах 5 и 4 соответственно.

В таблице 2 приведены результаты определения физико-химических показателей мороженого при замене сахарозы на сиропы.

Рис. 1. Хроматограммы сахарных сиропов: А — финиковый, Б — голубой агавы, В — топинамбура, Г — кэроба

Fig. 1. Chromatograms of sugar syrups: А — date, Б — blue agave, В — Jerusalem artichoke, Г — carob

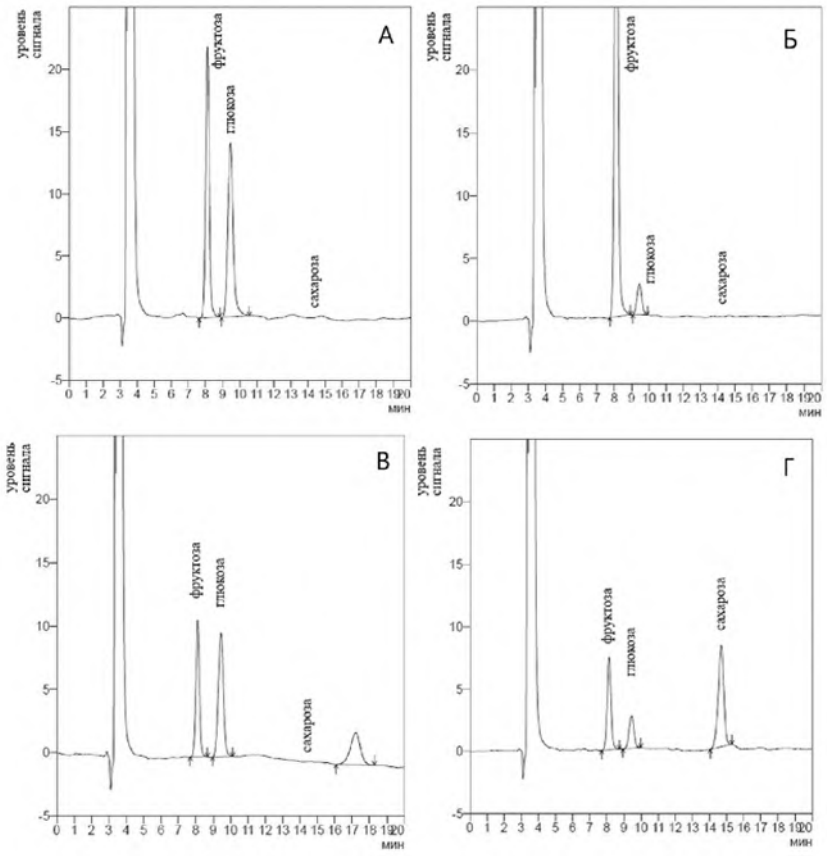


Таблица 1. **Массовая доля сахаров в сиропах**
Table 1. **Mass fraction of sugars in syrups**

Наименование сиропа	Массовая доля сахаров, %			
	общего сахара	фруктозы	глюкозы	сахарозы
Финиковый	55,7 ± 2,2	29,7 ± 1,8	26,0 ± 1,3	менее 0,1
Голубой агавы	62,6 ± 2,5	59,2 ± 3,6	3,4 ± 0,4	менее 0,1
Топинамбура	41,3 ± 1,7	18,7 ± 1,1	22,3 ± 1,1	менее 0,1
Кэроба	47,8 ± 1,9	16,3 ± 1,0	6,4 ± 0,3	25,0 ± 1,0

Таблица 2. **Физико-химические показатели образцов мороженого**
Table 2. **Physicochemical properties of ice cream samples**

Показатели	Образцы				
	1	2	3	4	5
Температура мягкого мороженого при выгрузке из фризера, °С	минус 5,2	минус 7,2	минус 6,9	минус 7,0	минус 6,0
Взбитость, %	48	51	50	50	49
Титруемая кислотность, Т	21 ± 1	42 ± 1	21 ± 1	22 ± 1	56 ± 01
Активная кислотность, ед. pH	6,43 ± 0,02	5,99 ± 0,01	6,47 ± 0,05	6,33 ± 0,03	6,16 ± 0,01
Криоскопическая температура, °С	Минус 2,72 ± 0,11	Минус 3,94 ± 0,30	Минус 3,64 ± 0,43	Минус 3,28 ± 0,14	Минус 3,44 ± 0,13

При определении показателя «взбитость» установлено, что внесение сиропов вместо сахарозы не оказывает существенного влияния на данный показатель, из чего следует, что данная замена не влияет на способность продукта к насыщению воздухом при фризеровании, что важно для достижения желаемой характеристики консистенции продукта, известной как «кремообразность».

Внесение сиропов финикового и кэроба сказывается на кислотности готового мороженого — приводит к увеличению в 2 и 2,5 раза титруемой кислотности по сравнению с контрольным

образцом. Высокое значение титруемой кислотности не характерно для мороженого пломбир без использования фруктовых и ягодных наполнителей. В исследовании [22] авторами также отмечено возрастание титруемой кислотности при увеличении количества внесенного финикового сиропа.

По данным исследований криоскопической температуры и взаимосвязанного с ним показателя «температура мягкого мороженого» видно, что в опытных образцах криоскопическая температура на 0,56–1,22 °С или на 20-44% ниже, чем в контрольном образце, соответственно и необходимая для выгрузки мороженого доля вымороженной влаги достигается при более низких температурах (на 0,8–2,5 °С и 15–48%). Это важно учитывать при выборе режимов технологического оборудования и подборе упаковки для мороженого при фасовании.

Низкая криоскопическая температура образцов мороженого с сиропами объясняется тем, что моносахариды имеют более низкую молекулярную массу — 180 г/моль, у сахарозы данный показатель составляет 342 г/моль.

Снижение криоскопической температуры может также отрицательно сказываться на устойчивости мороженого к таянию, поэтому было оценено влияние замены сахарозы на сиропы на термоустойчивость мороженого (табл. 3).

По данным табл. 3 видно, что опытные образцы с сиропами финиковым и агавы (2 и 3) практически не отличаются от контрольного образца (1) при определении термоустойчивости. Через 60 мин выдерживания образуется менее 1% плава, аналогичная тенденция по схожести образования плава в этих образцах наблюдается и через 90 мин термостатирования.

Полученные значения массовой доли плава характеризуют данные образцы мороженого, как продукты с высокой устойчивостью к таянию. По динамике образования плава можно сказать, что образец 5 обладает хорошей термоустойчивостью, а образец 4 имеет удовлетворительную устойчивость к таянию.

Таблица 3. **Массовая доля плава в образцах мороженого**

Table 3. **Mass fraction of melt in ice cream samples**

Продолжительность выдерживания, мин	Образцы				
	1	2	3	4	5
60	0,6	0	0,3	5,4	3,0
90	3,2	2,5	3,1	26,6	18,4
120	7,4	6,3	7,1	46,2	41,1

Таблица 4. **Структурно-механические показатели образцов мороженого**

Table 4. **Structural and mechanical properties of ice cream samples**

Образцы	Динамическая вязкость смеси для мороженого, мПа·с		Условная твердость мороженого, Н	
	До созревания	После созревания	После закаливания	Через 3 мес. хранения
1	569 ± 12	680 ± 9,4	4,0 ± 0,6	9,7 ± 1,2
2	1519 ± 142	1747 ± 108	1,1 ± 0,2	8,2 ± 0,9
3	598 ± 18	770 ± 21	1,2 ± 0,1	6,1 ± 1,9
4	874 ± 67	1090 ± 44	1,0 ± 0,1	5,5 ± 0,3
5	710 ± 28	970 ± 68	2,0 ± 0,1	5,6 ± 1,7

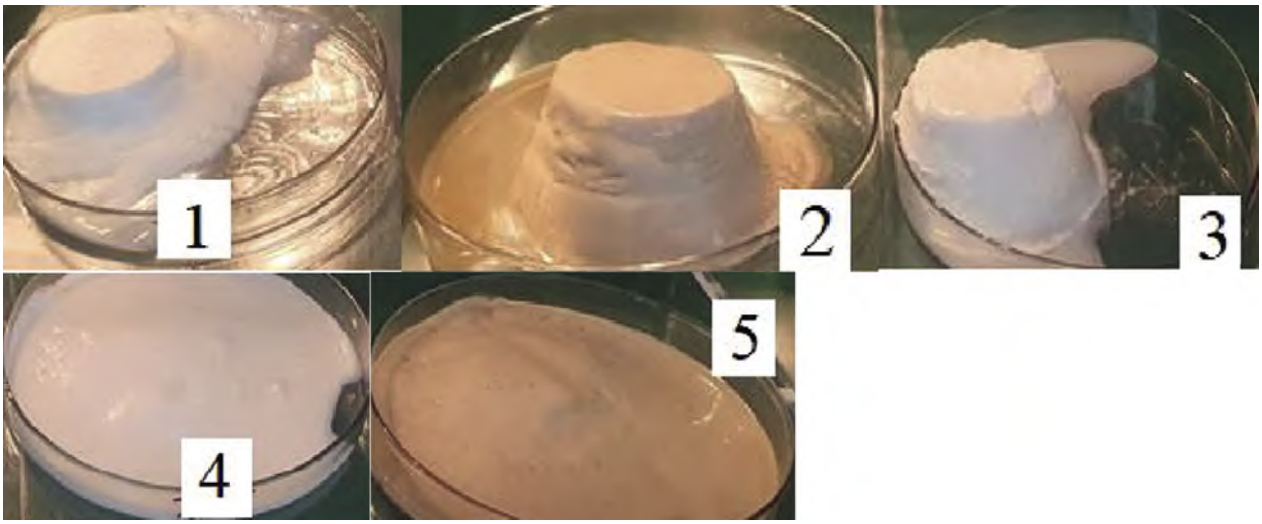
Данные по показателю «формоустойчивость» коррелируют с данными по термоустойчивости образцов. Лучшей способностью сохранять форму через 60 мин термостатирования обладают образцы 1, 2 и 3 (рис. 2).

Для всех образцов определены структурно-механические показатели смесей и мороженого (табл. 4).

В зависимости от вида внесенного сиропа динамическая вязкость смесей увеличивается в 1,1–2,6 раза по сравнению с контрольным образцом.

Рис. 2. Состояние порций образцов мороженого при замене сахарозы на сиропы через 60 мин выдерживания: 1 — контроль, 2 — финиковый сироп, 3 — сироп голубой агавы, 4 — сироп топинамбура и 5 — сироп кэроба

Fig. 2. The state of ice cream sample portions when sucrose was replaced with syrups after 60 minutes of holding: 1 — control , 2 — date syrup, 3 — blue agave syrup, 4 — Jerusalem artichoke syrup and 5 — carob syrup



По мере увеличения вязкости смеси образцы можно распределить в следующем порядке: 1, 3, 5, 4 и 2. Финиковый сироп значительно увеличивает вязкость смеси, ее значение в 2,6 раза выше, чем у контрольного образца. Данный показатель значительно превышает желательный уровень вязкости (600–800 мПа·с) для мороженого с массовой долей молочного жира 12%, что увеличивает нагрузку на оборудование и затрудняет применение финикового сиропа в качестве источника сахаров при полной замене сахарозы на предприятиях отрасли.

Вариантом снижения вязкости смеси при использовании финикового сиропа может быть как уменьшение количества стабилизационной системы, так и сокращение его количества. После созревания отмечено увеличение вязкости смеси всех образцов. Наибольшее нарастание динамической вязкости произошло в образце 5 с использованием кэроба, вязкость увеличилась на 37%, наименьшие изменения в образце 2 — на 15%.

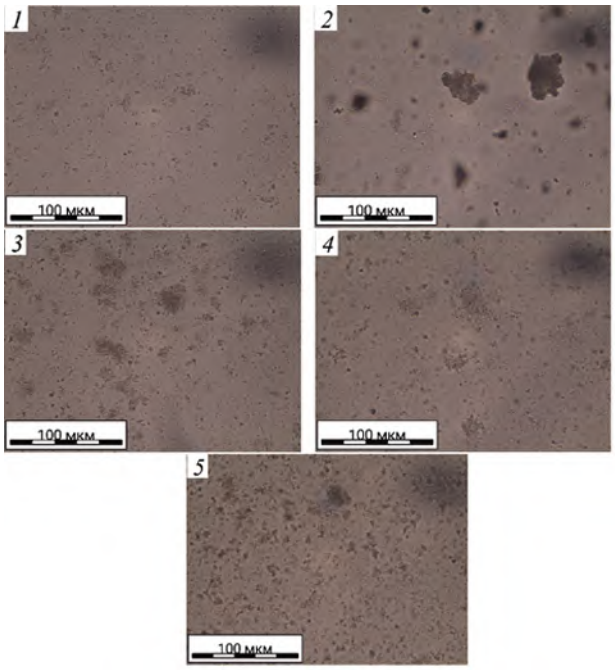
Внесение сиропов взамен сахарозы сказалось на условной твердости мороженого: опытные образцы были значительно мягче контрольного образца (1): с сиропом кэроба — в 2 раза, с остальными сиропами почти в 4 раза. Данную особенность необходимо учитывать при подборе упаковки для фасовки такого вида продукции. Через 3 месяца хранения твердость всех образцов стала выше, наименьшие изменения отмечены в контрольном образце (1) и с сиропом кэроба (5).

Во всех образцах мороженого изучалось состояние жировой фазы, которую оценивали при визуальном анализе микрофотографий (рис. 3).

Определено, что во всех опытных образцах мороженого формируются скопления крупных агломератов жировых шариков, что может быть следствием более высокой вязкости их смесей.

Рис. 3. Микрофотографии (×400) состояния жировой фазы в образцах

Fig. 3. Micrographs (×400) of the state of the fat phase in the samples



активностью в топинамбуре, финиках и кэробе [22, 4, 8].

Использование финикового сиропа в количестве 16% приводит к повышению антиоксидантной активности молочных десертов за счет увеличения количества фенольных соединений [6]. Tounsi совместно с Kechaou провели исследования по сравнительной оценки сиропов кэроба и финикового [23]. Ими было установлено, что сироп кэроба обладает большей антиоксидантной активностью, чем финиковый сироп, что согласуется с полученными результатами.

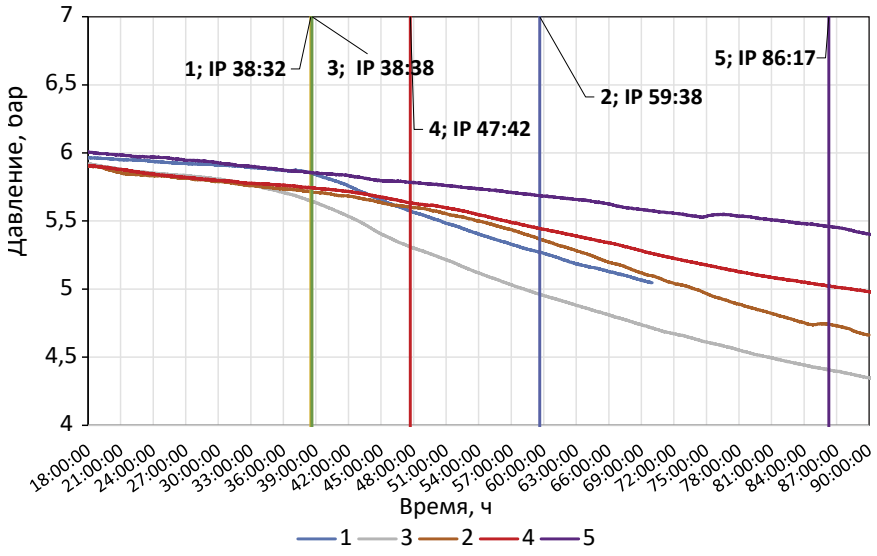
Все образцы мороженого были оценены органолептически. Перед проведением дегустационной

Во всех образцах исследовали индукционный период окисления жировой фазы (рис. 4).

Установлено, что наименьший индукционный период характерен для образцов с использованием сахарозы (1) и голубой агавы (3). Различий между ними не выявлено. Индукционный период в мороженом с сиропом топинамбура (4) выше в 1,2 раза, чем у образца с сахарозой (1), а в образцах с сиропами финиковым (2) и кэроба (5) — в 1,5 и 2,2 раза соответственно. Увеличение индукционного периода в этих образцах можно объяснить содержанием веществ с высокой антиоксидантной

Рис. 4. Индукционный период окисления образцов мороженого: 1 — контроль, 2 — финиковый сироп, 3 — сироп голубой агавы, 4 — сироп топинамбура и 5 — сироп кэроба

Fig. 4. Induction period of oxidation of ice cream samples: 1 — control, 2 — date syrup, 3 — blue agave syrup, 4 — Jerusalem artichoke syrup and 5 — carob syrup



оценки образцы выдерживались при одинаковой температуре минус (14 ± 2) °С. Установлено, что через 3 месяца хранения по показателю «вкус и аромат» образцы получили выше 5,5 баллов, обозначено, что для каждого образца характерна достаточная и гармоничная сладость. Отмечено, что в каждом образце выражен вкус, характерный для сиропов и сырья, из которого они были изготовления. При оценивании показателя «структура и консистенция» образцы 1, 4 и 5 получили 2,7 баллов, наибольший балл был у образца 3 — 2,8 баллов и образец 2 получил наименьшее количество баллов — 2,1, поскольку в нем отмечен порог «песчанистость», вызванный формированием кристаллов лактозы, размер которой варьировался от 13 до 68 мкм (рис. 5).

Рекомендуемый срок хранения мороженого составляет 6 мес., однако, на усмотрение производителя, он может быть увеличен как до 12, так и до 24 месяцев. Было установлено, что через 16 месяцев хранения в образцах с сиропами, в которых ранее отсутствовали кристаллы лактозы, также обнаружено их присутствие (рис. 6).

В зависимости от состава сахаров выпавшие кристаллы лактозы имеют различную форму и размеры. Полученные данные свидетельствуют о необходимости проведения дополнительных исследований по выявлению кристаллов лактозы после 4 мес. хранения.

При исследовании дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда определено, что после закаливания во всех образцах средний размер кристаллов льда не превышал 27 мкм, при этом не менее 94% частиц имели размер менее 50 мкм. Через 16 мес. хранения в образце с финиковым сиропом (2) сделать фотографии кристаллов льда не представлялось возможным из-за большого количества кристаллов лактозы в поле зрения. Кристаллы льда в образце 1 увеличились в 1,2 раза, в образцах 3–5 — в 1,4–1,6 раза.

При исследовании дисперсности воздушной фазы отмечено, что внесение сиропов не оказало отрицательного воздействия на этот показатель.

Рис. 5. Микрофотографии кристаллов лактозы (x100) в образце с финиковым сиропом через 3 мес. хранения

Fig. 5. Micrographs of lactose crystals (x100) in a date syrup sample after 3 months of storage

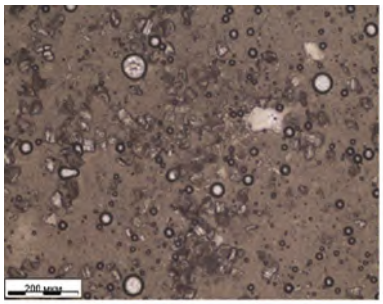
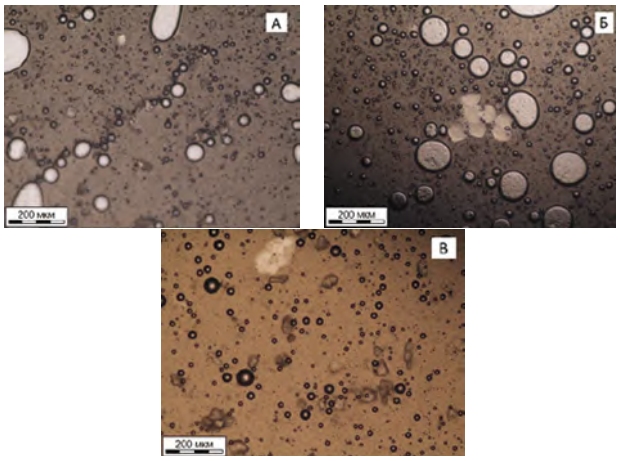


Рис. 6. Микрофотографии кристаллов лактозы (x100) в образцах мороженого с использованием сиропов через 16 мес. хранения: А — голубой агавы, Б — топинамбуром и В — кэробом

Fig. 6. Micrographs of lactose crystals (x100) in ice cream samples using syrups after 16 months of storage: A — blue agave, Б — Jerusalem artichoke and B — carob



Выводы/Conclusion

В результате исследований выявлено, что применение финикового сиропа в производстве мороженого с полной заменой сахарозы нежелательно, поскольку его внесение способствует слишком высокой вязкости смеси и образованию кристаллов лактозы уже спустя 3 мес. хранения.

Однако, стоит отметить его положительное влияние на индукционный период окисления за счет высокого содержания веществ с антиоксидантной активностью.

Установлено, что внесение сиропов не оказывает отрицательного влияния на дисперсность кристаллов льда и воздушной фазы. Однако, их использование способствует понижению криоскопической температуры на 0,5-1,2 °С, что следует учесть при выборе режимов работы оборудования.

Отмечено также положительное влияние сиропа кэроба на индукционный период окисления, что позволяет рассматривать данное сырье как источник антиоксидантов.

Определено, что для мороженого с массовой долей молочного жира 12% с полной заменой сахарозы на сиропы рекомендовано устанавливать непродолжительный срок хранения из-за высокого риска образования лактозы. При более длительном хранении необходимо проведение дополнительных исследований для установления периода выпадения кристаллов лактозы, ощутимых органолептически.

Использование сиропов финикового и кэроба способствует увеличению индукционного периода окисления жировой фазы, что позволяет рассматривать эти компоненты, как источник антиоксидантов.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FGUS-2025-0003 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rayappa M.K. Palmyrah palm (*Borassus flabellifer*) non-centrifugal sugar - Current production practices as a natural sugar and a promising functional food/additive. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023; 14: 100829. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100829

2. Djaoud K. *et al.* Advancing sustainable practices based on UV-C radiation for valorising downgraded date fruit residues from date syrup production. *Food Research International*. 2025; 222(1): 117747. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117747

3. Almoumen A. *et al.* Fortifying bread rolls with date fruit fiber: Effects on dietary fiber, antioxidant capacity, mineral content, and glycemic response. *NFS Journal*. 2025; 39: 100229. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100229

4. Nargesi M.H., Kheiralipour K. Non-destructive prediction of sucrose, proline, ash, and fructose/glucose ratio in date syrup using hyperspectral imaging and machine learning. *LWT*. 2025; 229: 118153. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118153

5. Sayas-Barberá E. *et al.* Approaches to Enhance Sugar Content in Foods: Is the Date Palm Fruit a Natural Alternative to Sweeteners?. *Foods*. 2024; 13(1): 129. https://doi.org/10.3390/foods13010129

6. Djaoud K. *et al.* Dairy dessert processing: Effect of sugar substitution by date syrup and powder on its quality characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020; 44: e14414. https://doi.org/10.1111/jfpp.14414

7. Sameen A., Manzoor M.F., Khan M.I., Sahar A., Saddique A. Quality evaluation of ice cream prepared with *Phoenix dactylifera* syrup as a substitute of sugar. *Pakistan Journal of Food Sciences*. 2016; 26(4): 226–233

8. Shalabi O.M.A.K. Antioxidant, antibacterial, and antitumor activities of goat's stirred yoghurt fortified with carob molasses. *Annals of Agricultural Science*. 2022; 67(1): 119–126. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2022.06.003

9. Zannini M., Cattivelli A., Nissen L., Conte A., Gianotti A., Tagliazucchi D. Identification, Bioaccessibility, and Antioxidant Properties of Phenolic Compounds in Carob Syrup. *Foods*. 2024; 13(14): 2196. https://doi.org/10.3390/foods13142196

10. Omrani A., Sboui A., Hamouda M., Dbara M., Hammadi M., Khorchani T. Fortification of camel milk yogurt with carob syrup and powder: Impact on physicochemical, microbial, antioxidant, rheological and sensory properties. *Applied Food Research*. 2025; 5(2): 101333. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101333

11. Ozuna C., Franco-Robles E. Agave syrup: An alternative to conventional sweeteners? A review of its current technological applications and health effects. *LWT*. 2022; 162: 113434. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113434

12. Espinosa-Andrews H., Urías-Silvas J.E., Morales-Hernández N. The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021; 114: 585–598. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.022

13. Mellado-Mojica E., López M.G. Identification, classification, and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. *Food Chemistry*. 2015; 167: 349–357. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.111

14. Akili I.S. *et al.* Is maple syrup the next sweetener substitute? Comparing the potential opportunities and challenges of maple syrup to other common sweeteners. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 19: 101729. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101729

15. Saraiva A., Carrascosa C., Ramos F., Raheem D., Lopes M., Raposo A. Maple Syrup: Chemical Analysis and Nutritional Profile, Health Impacts, Safety and Quality Control, and Food Industry Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(20): 13684. https://doi.org/10.3390/ijerph192013684

16. Saadi A.M., Al-Farha A.A.-B., Hamid R.A., Wajeeh D.N. Use of natural sweeteners (maple syrup) in production of low-fat ice cream. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2022; 38: 282–287

17. Toufeili I., Itani M., Zeidan M., Yamani O.A., Kharroubi S. Nutritional and Functional Potential of Carob Syrup *Versus* Date and Maple Syrup. *Food Technology and Biotechnology*. 2022; 60(2): 266–278. https://doi.org/10.17113/ftb.60.02.22.7419

18. Зелепукин Ю.И., Яньшин В.П., Швецов Н.Н., Зелепукин С.Ю. Производство сахаросодержащих сиропов. *Сахар*. 2022; (1): 32–36. https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-1-32-36

19. Гнездилова А.И., Беляев Н.В., Кокошкин Р.А. Разработка концентрированного сладкого молочного продукта с комбинированным белковым и углеводным составом. *Молочнохозяйственный вестник*. 2021; (1): 132–139. https://doi.org/10.52231/2225-4269_2021_1_132

20. Ландиховская А.В., Творогова А.А. Показатели качества молочного мороженого с цитрусовыми волокнами и камедями. *Пищевые системы*. 2023; 6(2): 261–268. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-261-268

21. Королев И.А. Автоматизированное определение дисперсности воздушной фазы в мороженом с применением методов машинного обучения. *Техника и технология пищевых производств*. 2023; 53(3): 455–464. EDN EJOPLM

22. Wang J. *et al*. The protective effect of Jerusalem artichoke polysaccharides against oxidative damage to biomolecules. *Journal of Food Bioactives*. 2022; 17: 49–55. https://doi.org/10.31665/JFB.2022.17303

23. Tammam A.A., Salmanb K.H., Abd-El-Rahima A.M. Date syrup as a sugar substitute and natural flavour agent in ice cream manufacture. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2014; 5(8): 625–632.

24. Tounsi L., Kechaou N. Comparative study between carob and date syrups. *Journal of oasis agriculture and sustainable development*. 2022; 4(3): 55–61. https://doi.org/10.56027/JOASD.162022

FUNDING

The article is prepared as part of the research under the State Assignment No. FGUS-2025-0003 of Gorbatov Federal State Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

1. Rayappa M.K. Palmyrah palm (*Borassus flabellifer*) non-centrifugal sugar - Current production practices as a natural sugar and a promising functional food/additive. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023; 14: 100829. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100829

2. Djaoud K. *et al.* Advancing sustainable practices based on UV-C radiation for valorising downgraded date fruit residues from date syrup production. *Food Research International*. 2025; 222(1): 117747. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117747

3. Almoumen A. *et al.* Fortifying bread rolls with date fruit fiber: Effects on dietary fiber, antioxidant capacity, mineral content, and glycemic response. *NFS Journal*. 2025; 39: 100229. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100229

4. Nargesi M.H., Kheiralipour K. Non-destructive prediction of sucrose, proline, ash, and fructose/glucose ratio in date syrup using hyperspectral imaging and machine learning. *LWT*. 2025; 229: 118153. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118153

5. Sayas-Barberá E. *et al.* Approaches to Enhance Sugar Content in Foods: Is the Date Palm Fruit a Natural Alternative to Sweeteners?. *Foods*. 2024; 13(1): 129. https://doi.org/10.3390/foods13010129

6. Djaoud K. *et al.* Dairy dessert processing: Effect of sugar substitution by date syrup and powder on its quality characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020; 44: e14414. https://doi.org/10.1111/jfpp.14414

7. Sameen A., Manzoor M.F., Khan M.I., Sahar A., Saddique A. Quality evaluation of ice cream prepared with *Phoenix dactylifera* syrup as a substitute of sugar. *Pakistan Journal of Food Sciences*. 2016; 26(4): 226–233

8. Shalabi O.M.A.K. Antioxidant, antibacterial, and antitumor activities of goat's stirred yoghurt fortified with carob molasses. *Annals of Agricultural Science*. 2022; 67(1): 119–126. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2022.06.003

9. Zannini M., Cattivelli A., Nissen L., Conte A., Gianotti A., Tagliazucchi D. Identification, Bioaccessibility, and Antioxidant Properties of Phenolic Compounds in Carob Syrup. *Foods*. 2024; 13(14): 2196. https://doi.org/10.3390/foods13142196

10. Omrani A., Sboui A., Hamouda M., Dbara M., Hammadi M., Khorchani T. Fortification of camel milk yogurt with carob syrup and powder: Impact on physicochemical, microbial, antioxidant, rheological and sensory properties. *Applied Food Research*. 2025; 5(2): 101333. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101333

11. Ozuna C., Franco-Robles E. Agave syrup: An alternative to conventional sweeteners? A review of its current technological applications and health effects. *LWT*. 2022; 162: 113434. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113434

12. Espinosa-Andrews H., Urías-Silvas J.E., Morales-Hernández N. The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021; 114: 585–598. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.022

13. Mellado-Mojica E., López M.G. Identification, classification, and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. *Food Chemistry*. 2015; 167: 349–357. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.111

14. Akili I.S. *et al.* Is maple syrup the next sweetener substitute? Comparing the potential opportunities and challenges of maple syrup to other common sweeteners. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 19: 101729. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101729

15. Saraiva A., Carrascosa C., Ramos F., Raheem D., Lopes M., Raposo A. Maple Syrup: Chemical Analysis and Nutritional Profile, Health Impacts, Safety and Quality Control, and Food Industry Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(20): 13684. https://doi.org/10.3390/ijerph192013684

16. Saadi A.M., Al-Farha A.A.-B., Hamid R.A., Wajeeh D.N. Use of natural sweeteners (maple syrup) in production of low-fat ice cream. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2022; 38: 282–287

17. Toufeili I., Itani M., Zeidan M., Yamani O.A., Kharroubi S. Nutritional and Functional Potential of Carob Syrup *Versus* Date and Maple Syrup. *Food Technology and Biotechnology*. 2022; 60(2): 266–278. https://doi.org/10.17113/ftb.60.02.22.7419

18. Zelepukin Yu.I., Yan'shin V.P., Shvetsov N.N., Zelepukin S.Yu. Production of sugar-containing syrups. *Sakhar*. 2022; (1): 32–36 (in Russian). https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-1-32-36

19. Gnezdilova A.I., Belyaev N.V., Kokoshkin R.A. Development of a concentrated sweet milk product with a combined protein and carbohydrate composition. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik*. 2021; (1): 132–139 (in Russian). https://doi.org/10.52231/2225-4269_2021_1_132

20. Landikhovskaya A.V., Tvorogova A.A. Quality characteristics of milk ice cream with citrus fibers and gum. *Food systems*. 2023; 6(2): 261–268 (in Russian). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-261-268

21. Korolev I.A. Automated measurement of air bubbles dispersion in ice cream using machine learning methods. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023; 53(3): 455–464 (in Russian). EDN EJOPLM

22. Wang J. *et al*. The protective effect of Jerusalem artichoke polysaccharides against oxidative damage to biomolecules. *Journal of Food Bioactives*. 2022; 17: 49–55. https://doi.org/10.31665/JFB.2022.17303

23. Tammam A.A., Salmanb K.H., Abd-El-Rahima A.M. Date syrup as a sugar substitute and natural flavour agent in ice cream manufacture. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2014; 5(8): 625–632.

24. Tounsi L., Kechaou N. Comparative study between carob and date syrups. *Journal of oasis agriculture and sustainable development*. 2022; 4(3): 55–61. https://doi.org/10.56027/JOASD.162022

ОБ АВТОРАХ

Анна Валентиновна Ландиховская
кандидат технических наук, научный сотрудник
a.landihovskaya@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0001-5881-2309

Полина Борисовна Ситникова
кандидат технических наук, научный сотрудник
p.sitnikova@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0002-4098-9146

Наталия Владимировна Казакова
кандидат технических наук, научный сотрудник
n.kazakova@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0002-2963-6294

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. им. Костякова, 12, Москва, 127422, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Anna Valentinovna Landikhovskaya
Candidate of technical sciences, Senior Researcher
a.landihovskaya@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0001-5881-2309

Polina Borisovna Sitnikova
Candidate of technical sciences, Senior Researcher
p.sitnikova@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0002-4098-9146

Natalia Vladimirovna Kazakova
Candidate of technical sciences, Lead Engineer
n.kazakova@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0002-2963-6294

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry — branch of the Gorbatov Research Center for Food Systems,
12 Kostykov st., Moscow, 127422, Russia

Достойное вознаграждение за привлеченную рекламу от ИД «Аграрная наука»

Вы	Мы гарантируем
общительны и активны	интересную работу по привлечению рекламы в проекты ИД
владеете связями в сфере АПК	свободный, удобный график
имеете время и желание	официальное оформление
хотите заработать	щедрый % за принесенную вами рекламу

Звоните +7 (916) 616-05-31

Реклама

УДК 634.7 (571.56)

Краткое сообщение

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-170-174

У.М. Лебедева[1, 2]

Т.В. Слепцова[1] ✉

В.Т. Васильева[1]

К.Н. Нициевская[3]

С.В. Станкевич[3]

[1]Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова — обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Якутск, Россия

[2]Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

[3]Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р. п. Краснообск, Новосибирская область, Россия

✉ *SlepsovaTV@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 04.05.2026

Одобрена после рецензирования: 10.08.2026

Принята к публикации: 26.08.2026

© Лебедева У.М., Слепцова Т.В., Васильева В.Т., Нициевская К.Н., Станкевич С.В.

Биохимический состав и органолептические свойства сублимированных дикорастущих ягод голубики и шиповника Западной Якутии

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Дикорастущие ягоды являются экологически безопасным источником ценных питательных веществ и антиоксидантов в рационе человека. Существуют различные способы обработки и консервации ягод, позволяющие длительно сохранять их полезные свойства. Одним из эффективных способов консервации продуктов путем быстрого и полного удаления влаги является сублимационная сушка, в процессе которой продукт подвергается воздействию вакуума с последующей сублимацией и десорбцией воды.

Методы и объекты исследования. Объектами исследований были дикорастущие ягоды, собранные в фазе технической спелости в 2024 г. на территории Западной зоны Якутии. Сублимационная сушка ягод проводилась при температуре 16°С в течение 24 часов на сушильной установке АК 6-50 производства ГК «ПрофЛаб» (Россия). Методы исследований — общепринятые, стандартные.

Результаты. Установлено, что при сублимационной сушке дикорастущие ягоды сохраняют наилучшие органолептические показатели. Показано, что содержание сахарозы в ягодах голубики уменьшается на 3,26%, а в ягодах шиповника увеличивается на 0,32%. Сублимация снижает содержание аскорбиновой кислоты в ягодах голубики на 28%, в ягодах шиповника — в 3 раза, антоциана цианидин-3,5-дигликозида — соответственно на 9 и 29%, а содержание катехинов увеличивается в 5 и 10 раз.

Ключевые слова: дикорастущие ягоды, сублимационная сушка, органолептические показатели, биохимический состав, сухое вещество, сахароза, титруемая кислотность, аскорбиновая кислота, цианидин-3,5-диглюкозид, эпигаллокатехингаллат

Для цитирования: Лебедева У.М., Слепцова Т.В., Васильева В.Т., Нициевская К.Н., Станкевич С.В. Биохимический состав и органолептические свойства сублимированных дикорастущих ягод голубики и шиповника Западной Якутии. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 170–174.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-170-174

Short communication

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-170-174

Ulyana M. Lebedeva[1, 2]

Tatyana V. Sleptsova[1] ✉

Valentina T. Vasilyeva[1]

Ksenia N. Nitievskaya[3]

Svetlana V. Stankevich[3]

[1] M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture — Division of Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Yakutsk, Russia

[2] M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

[3] Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

✉ *SlepsovaTV@yandex.ru*

Received by the editorial office: 04.05.2026

Accepted in revised: 10.08.2026

Accepted for publication: 26.08.2026

© Lebedeva U.M., Sleptsova T.V., Vasilyeva V.T., Nitievskaya K.N., Stankevich S.V.

The biochemical composition and organoleptic properties of freeze–dried wild blueberries and rose hips from Western Yakutia

ABSTRACT

Relevance. Wild berries are an ecologically safe source of valuable nutrients and antioxidants in the human diet. There are various methods of processing and preserving berries, allowing them to preserve their beneficial properties for a long time. One of the most effective ways to preserve products by quickly and completely removing moisture is freeze drying, during which the product is exposed to vacuum, followed by sublimation and desorption of water.

Methods and objects of research. The objects of research were wild berries harvested in the phase of technical ripeness in 2024 on the territory of the Western zone of Yakutia. Freeze-drying of the berries was carried out at a temperature of 16 °C for 24 hours on an AK 6-50 drying unit manufactured by ProfLab Group of Companies (Russia). Research methods are generally accepted and standard.

Results. It has been established that wild berries retain the best organoleptic properties during freeze-drying. It has been shown that the sucrose content in blueberries decreases by 3.26%, and in rosehip berries — increases by 0.32%. Sublimation reduces the content of ascorbic acid in blueberries by 28%, in rosehip berries — by 3 times, anthocyanin cyanidin-3,5-diglycoside — by 9 and 29%, respectively, and the content of catechins increases by 5 and 10 times..

Key words: wild berries, freeze-drying, organoleptic characteristics, biochemical composition, dry matter, sucrose, titrated acidity, ascorbic acid, cyanidin-3,5-diglucoside, epigallocatechin gallate

For citation: Lebedeva U.M., Sleptsova T.V., Vasilyeva V.T., Nitievskaya K.N., Stankevich S.V. The biochemical composition and organoleptic properties of freezedried wild blueberries and rose hips from Western Yakutia. *Agrarian science*. 2026; 410(09): 170–174 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-170-174

Введение/Introduction

В последние годы активно исследуются полезные вещества дикорастущих ягод Якутии, являющихся важным натуральным и экологически чистым источником полезных элементов питания, витаминов, антиоксидантов, а также минеральных веществ [1–3]. Заготовка и переработка дикорастущих ягод рассматривается как перспективная составляющая устойчивого развития экономики Республики Саха (Якутия). Принципиально важным является возможность использования дикорастущих ягод как самостоятельных продуктов питания, так и включение их в уже существующие рационы и рецептуры продуктов. Выявление эффективных способов консервации ягодного сырья, длительно сохраняющих его питательную ценность, имеет важное значение.

Определенный интерес в этом отношении представляют дикорастущие ягодные культуры, такие как голубика обыкновенная *(Vaccinium uliginosum* L.*)* и шиповник иглистый *(Rosa acicularis* L.*),* широко произрастающие и употребляемые в нашей республике. Содержание аскорбиновой кислоты составляет 20,0 мг/100 г свежих ягод голубики. В бруснике этот показатель ниже — 15,0 мг/100 г. Наибольшая концентрация аскорбиновой кислоты среди дикорастущих ягод Якутии отмечается у шиповника иглистого 3100,0 мг/100 г. Употребление всего 5,0 г шиповника удовлетворяет суточную потребность взрослого человека в витамине С на 155% [4].

Свежие ягоды относятся к скоропортящейся продукции, что сокращает возможность их круглогодичного потребления. Решение проблемы консервации ягод на более длительный срок с максимальным сохранением питательных веществ является актуальной задачей. В настоящее время широко распространенным способом удаления влаги из ягод и увеличения срока их хранения является тепловая обработка. Однако, при тепловой сушке наблюдается значительные потери биологически активных веществ [5].

Среди существующих способов сушки одним из наиболее эффективных является сублимационная сушка — высушивание продуктов в замороженном состоянии под вакуумом. Этот способ позволяет обеспечить максимальное сохранение питательных свойств продуктов, вкуса, аромата и структуры [6, 7]. Исследования И.Ж. Темировой [8] выявили, что наилучшие органолептические показатели ягод малины и максимальное содержание в них витамина С (21,3 мг/100 г) обеспечивала сублимационная сушка при температуре 35 °С в течение 18 часов. В исследованиях Т.Г. Причко с соавторами [9] показано, что при сублимационной сушке замороженных плодов и ягод (при –82 °С в течение 36–68 часов) потери витаминов *С* и *Р* составляют от 3,6 до 7,5%. Это свидетельствует о незначительном снижении содержания данных веществ. При этом отмечено высокое качество вкуса и аромата сублимированных продуктов. В опытах А.Н. Никитенко с соавторами, изучалось влияние технологических параметров переработки фруктового сырья, в том числе способов сушки, на содержание фенольных веществ. Установлено, что сублимационная сушка превосходит другие способы сушки и обеспечивает сохранение 82% фенольных веществ и 63% антоцианов фруктового сырья [10].

Цель исследований — определить биохимический состав и органолептические свойства сублимированных ягод голубики обыкновенной и шиповника иглистого, произрастающих в Западной Якутии.

Материал и методы исследования / Material and methods

Объектами исследований выбраны ягоды дикорастущей голубики обыкновенной (*Vaccinium uliginosum* L.*)* и шиповника иглистого (*Rosa acicularus* L.*).*

Сбор образцов проводился в 2024 году на территории Вилюйского района, расположенного в Западной Якутии.

Пробы ягод голубики обыкновенной и шиповника иглистого для исследования отобраны по ГОСТ Р 59425-2021[1] с двенадцати делянок площадью по 1 м^2 на каждом из трех участков.

Образцы ягод загружали в морозильную камеру Forma 902 производства компании Thermo Scientific (США), где при температуре -70 °С проводилась длительная заморозка для создания внутри материала ровной кристаллической структуры. После заморозки образцы перемещали в сушильную камеру, представляющую собой полую цилиндрическую емкость со встроенными полками. Образцы размещали на полках, после чего включали вакуумную откачку, давление внутри сушильной камеры снижали до значения, обеспечивающего удаление влаги из замороженных ягод. Сублимационная сушка ягод проводилась при давлении 0,04 мбар (4 Па) и температуре 16 °С в течение 24 часов на установке АК 6-50 производства ГК «ПрофЛаб» (Россия), данный режим выбран на основе предварительных экспериментов.

Биохимические исследования проведены в Сибирском федеральном научном центре агробиотехнологий (СФНЦА) РАН (р. п. Краснообск, Новосибирская область, Россия). Содержание сухих веществ определяли по ГОСТ 28561-90[2].

[1] ГОСТ Р 59425-2021 «Продукция органическая из дикорастущего сырья. Правила сбора, заготовки, переработки, хранения, транспортирования и маркировки». Москва: Стандартинформ, 2021. — 13 с.
[2] ГОСТ 28561-90 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги». Москва: Стандартинформ, 2011. — 84 с.

Титруемую кислотность определяли по ГОСТ ISO 750-2013[3]. Содержание антоцианов определяли по ГОСТ 32709- 2014[4].

Исследования по содержанию катехинов[5] проводили по стандартным методикам [11]. Определение аскорбиновой кислоты[6] проведено методом обратного йодометрического титрования. Содержание общего количества растворимых углеводов определяли методом окисления углеводов дихроматом калия в сильнокислой среде[7].

Проведена дегустация органолептических показателей дикорастущих ягод после сублимационной сушки комиссией из 5 экспертов (2 мужчин, 3 женщин) — сотрудников Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства, в соответствии с ГОСТ 34130-2017[8] и ГОСТ 8756.1-2017[9].

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010 (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Органолептическая оценка показала, что дикорастущие ягоды после сублимационной сушки обладали хорошим вкусом (4,4 балла), запахом (4,7 балла), цветом (4,6 балла) и внешним видом (4,5 балла) (таблица 1). Установлено, что вариабельность органолептических показателей ягод была незначительной (коэффициент вариации CV = 1,6–9,6 %).

Форма протокола демонстрирует отклонение от стандартизированной структуры, закрепленной в действующем в ГОСТ 8756.1-2017[9].

Результаты исследований, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что под влиянием сублимационной сушки биохимический состав ягод изменялся различно в зависимости от конкретного показателя и вида. Так, влажность ягод голубики после сушки составила 8,9%, шиповника 5,4%, а титруемая кислотность увеличилась соответственно на 2,33 и 0,68 ммоль H^+/100 г или в 2,4 и 1,8 раза. Содержание сахарозы в ягодах голубики после сублимации снизилось на 39,3%, шиповника — увеличилось на 12,2%.

Содержание аскорбиновой кислоты является одним из важных показателей пищевой ценности ягод. После сублимационной сушки ее количество в ягодах голубики уменьшилось с 208,0 до 149,6 мг/100 г (на 28%), шиповника — в 3 раза (1166 до 387 мг/100г). Тем не менее, согласно МР 2.3.1.0253–21[10], суточную потребность взрослого человека в витамине С удовлетворяет употребление всего 26 г ягод шиповника и 67 г ягод голубики, произрастающих на территории Западной Якутии и высушенных способом сублимации.

Таблица 1. **Органолептические показатели дикорастущих ягод после сублимационной сушки**
Table 1. **Organoleptic characteristics of wild berries from after freeze-drying**

Ягоды	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус	Общая оценка
Голубика	4,5 ± 0,06	4,7 ± 0,07	4,5 ± 0,03	4,7 ± 0,06	4,6 ± 0,05
Шиповник	4,4 ± 0,03	4,4 ± 0,12	4,8 ± 0,11	4,1 ± 0,06	4,4 ± 0,08
Среднее	4,5	4,6	4,7	4,4	4,5
CV, %	1,6	4,7	4,6	9,6	3,3

Антоцианы — растительные пигменты, придающие окраску различным органам растений (красную, синюю, фиолетовую) и способствующие устойчивости к неблагоприятным условиям. Содержание антоциана цианидин-3,5-дигликозида в исходных ягодах голубики составило 222,5 мг/100 г, шиповника — 19,6 мг/100 г. Сублимационная сушка уменьшила его содержание соответственно на 9 и 29%. При этом сублимационные ягоды голубики не поменяли цвет и имели темно-фиолетовую окраску, а ягоды шиповника

Таблица 2. **Влияние сублимационной сушки на биохимический состав дикорастущих ягод Западной Якутии**
Table 2. **The effect of freeze drying on the biochemical composition of wild berries of Western Yakutia**

Показатель	Исходное сырье	Сублимационная сушка
Голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.)		
Влага, %	88,0 ± 0,01	8,9 ± 0,04
Титруемая кислотность, ммоль H^+/100 г	1,64 ± 0,03	3,97 ± 0,08
Сахароза (на с.в.), %	8,30 ± 0,08	5,04 ± 0,10
Аскорбиновая кислота (на с.в.), мг/100 г	208,0 ± 0,6	149,6 ± 0,72
Цианидин-3,5-диглюкозид (на с.в.), мг/100 г	222,5 ± 1,03	202,2 ± 1,1
Эпигаллокатехингаллат (на с.в.), %	1,16 ± 0,08	5,89 ± 0,09
Шиповник иглистый *(Rosa acicularis* L.*)*		
Влага, %	69,6 ± 0,03	5,4 ± 0,02
Титруемая кислотность, ммоль H^+/100г	0,87 ± 0,05	1,55 ± 0,03
Сахароза (на с.в.), %	2,63 ± 0,03	2,95 ± 0,06
Аскорбиновая кислота (на с.в.), мг/100 г	1166,1 ± 0,9	387,2 ± 1,9
Цианидин-3,5-диглюкозид (на с.в.), мг/100 г	19,6 ± 0,08	13,9 ± 0,1
Эпигаллокатехингаллат (на с.в.), %	0,49 ± 0,05	4,96 ± 0,07

[3] ГОСТ ISO 750-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности». Москва: Стандартинформ, 2019. — 5 с.
[4] ГОСТ 32709-2014 «Продукция соковая. Методы определения антоцианинов». Москва: Стандартинформ, 2014. — 17 с.
[5] Запрометов М.Н. Биохимия катехинов. М, Наука, 1964; 294.
[6] Коренман Я.И., Лисицкая Р.П. Практикум по аналитической химии. Анализ пищевых продуктов: учеб. пособие. Коренман, Воронеж, гос. технол. акад. Воронеж, 2002; 408.
[7] Панова Т.М., Щеголев А.А. Технология и оборудование для переработки растительного сырья: методические указания по выполнению лабораторного практикума для студентов очной и заочной форм обучения. Направление 240100 «Химическая технология и биотехнология». Екатеринбург, УГЛТУ, 2010; 17.
[8] ГОСТ 34130-2017 «Фрукты и овощи сушенные. Методы испытаний». Москва: Стандартинформ, 2018. — 11 с.
[9] ГОСТ 8756.1-2017 «Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема». Москва: Стандартинформ, 2019. — 11 с.
[10] МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

приобрели более светлый оттенок. Согласно утвержденным нормам МР 2.3.1.0253-21[10], адекватный уровень потребления антоцианов составляет 50 мг в сутки. Употребление всего 24,7 г сушеных ягод голубики удовлетворяет суточную потребность взрослого человека в них.

Флавоноид катехин является одним из важных показателей пищевой ценности продукта. Он регулирует проницаемость капилляров и увеличивает упругость их стенок, усиливает эффективность аскорбиновой кислоты, способствует расщеплению жиров и снижает уровень холестерина [12]. Для его сохранения сушку ягод необходимо проводить при температуре ниже 50 °С, так как при более высокой температуре окисление катехина в ягодах ускоряется [13]. Проведенные исследования показали, что содержание катехинов в исследуемых дикорастущих ягодах Якутии после сублимационной сушки увеличивается пропорционально уменьшению массы продукта в процессе сушки: в ягодах голубики оно увеличилось в 5 раз, в ягодах шиповника — в 10 раз.

Выводы/Conclusion

Исследования показали, что после сублимации при температуре 16 °С в течение 24 часов ягоды, произрастающие в Западной зоне Якутии, сохраняют хорошие вкусовые качества, цвет и аромат.

Выявлено разнонаправленное действие сублимационной сушки на динамику изменения биохимических показателей разных видов ягод. В ягодах голубики содержание сахарозы уменьшалось на 39,3%, в ягодах шиповника — увеличивалось на 12,2%. Содержание аскорбиновой кислоты в ягодах голубики снижалось на 28% (до 149 мг/100г), в ягодах шиповника — в 3 раза (до 387 мг/100г), антоциана цианидин-3,5-дигликозида — соответственно на 9 и 29%, а содержание катехинов — увеличивалось в 5 и 10 раз соответственно.

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

Научно-исследовательская работа проведена в рамках выполнения государственного задания FWRS-2024-0025 на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

FUNDING

The research was carried out as part of the state assignment FWRS-2024-0025 using the equipment of the Central Computer Center of the Federal Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слепцова Т.В., Васильева В.Т., Егорова У.В., Баппагай Э.В. Витаминный состав ягод морошки в арктических районах Якутии. *Вопросы питания*. 2023; 9(S5): 202–203. EDN EBWMBG
2. Лебедева У.М., Слепцова Т.В., Васильева В.Т. Исследование химического состава ягод голубики обыкновенной, произрастающей в Арктических районах Якутии. *Вопросы питания*. 2024; 93(6): 139–144. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-6-139-144
3. Слепцова Т.В., Васильева В.Т. Влияние климатических условий на качество и урожайность ягод брусники обыкновенной, произрастающей в арктической зоне Якутии. *Аграрный вестник Урала*. 2023; 23(11): 98–108. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-11-98-108
4. Васильева В.Т., Слепцова Т.В. Анализ содержания витамина С в местных продуктах питания Якутии. *Вестник КрасГАУ*. 2023; (12): 246–251. https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-246-251
5. Завалий А.А., Лаго Л.А., Рыбалко А.С. Кинетика влагоудаления и разрушения витамина С при инфракрасной сушке ягод и фруктов в многоярусном шкафном устройстве. *Агроинженерия*. 2020; (5): 56–63. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-56-63
6. Каманова С.Г., Темирова И.Ж., Альдиева А.Б., Оспанкулова Г.Х. Влияние сублимационной сушки на органолептические свойства и химические состав ягод голубики. *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2023; 16(3): 36–41. EDN OONBKF
7. Ермолаев В.А., Яковченко М.А. Анализ процессов сублимационной сушки малины. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2017; (4): 55–58. EDN YMJJAC
8. Темирова И.Ж., Оспанкулова Г.Х. Исследование влияния сублимационной сушки на органолептические показатели и содержание витамина С в ягодах малины. *Вестник Алматинского технологического университета.* 2023; (3): 57–62. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-3-57-62
9. Причко Т.Г., Дрофичева Н.В. Закономерности изменения показателей качества фруктов после лиофильной сушки. *Ползуновский вестник*. 2025; (1): 161–167. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.020
10. Никитенко А.Н., Мазур А.М., Синило А.А., Клыпутенко М.А. Исследование влияния технологических параметров переработки фруктового сырья на изменения содержания фенольных веществ. *Пищевая промышленность: наука и технологии.* 2023; 16(3): 19–26. EDN CYMNFC
11. Зиннер Н.С., Высочина Г.И., Кукушкина Т.А., Свиридова Т.П. Биологически активные вещества *Hedysarum alpinum* L. и *H. theinum* Krasnob. (*Fabaceae*), интродуцируемых в Томскую область. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2010; (4): 116–122. EDN NMVICX
12. Афонина С.Н., Лебедева Е.Н., Сетко Н.П. Биохимия компонентов чая и особенности его биологического действия на организм (обзор). *Оренбургский медицинский вестник.* 2017; 5(4): 17–33. EDN YLYTIZ
13. Jin J.-C. *et al.* Widely targeted metabolomics reveals the effect of different raw materials and drying methods on the quality of instant tea. *Frontiers in Nutrition*. 2023; 10: 1236216. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1236216

REFERENCES

1. Sleptsova T.V., Vasil'yeva V.T., Yegorova U.V., Bappagay E.V. Vitamin composition of cloudberry fruits in the Arctic regions of Yakutia. *Problems of nutrition*. 2023; 9(S5): 202–203 (in Russian). EDN EBWMBG
2. Lebedeva U.M., Sleptsova T.V., Vasilyeva V.T. Chemical composition of blueberries in Arctic regions of Yakutia. *Problems of nutrition*. 2024; 93(6): 139–144 (in Russian). https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-6-139-144
3. Sleptsova T.V., Vasilyeva V.T. The influence of climatic conditions on the quality and yield of cranberry berries growing in the Arctic zone of Yakutia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23(11): 98–108 (in Russian). https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-11-98-108
4. Vasilyeva V.T., Sleptsova T.V. Vitamin C content analysis in local food products of Yakutia. *Bulletin of KSAU*. 2023; (12): 246–251 (in Russian). https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-246-251
5. Zavalii A.A., Lago L.A., Rybalko A.S. Kinetics of dehumidifi cation and destruction of vitamin C content during infrared drying of fruit and berries in a multi-tiered drier unit. *Agricultural Engineering*. 2020; (5): 56–63 (in Russian). https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-56-63
6. Kamanova S.G., Temirova I.Zh., Aldiyeva A.B., Ospankulova G.Kh. The effect of freeze-drying on the organoleptic properties and chemical composition of blueberries. *Food Industry: Science and Technologies.* 2023; 16(3): 36–41 (in Russian). EDN OONBKF
7. Ermolaev V.A., Yakovchenko M.A. Analysis of problems of freeze drying of raspberries. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2017; (4): 55–58 (in Russian). EDN YMJJAC
8. Temirova I.Zh., Ospankulova G.Kh. Determination of organoleptic indicators and vitamin c content in freezed raspberry. *The Journal of Almaty Technological University*. 2023; (3): 57–62 (in Russian). https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-3-57-62
9. Prichko T.G., Drofi cheva N.V. Regularities of changes in the quality indicators of fruits after freeze drying. *Polzunovskiy vestnik*. 2025; (1): 161–167 (in Russian). https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.020
10. Nikitenko A.N., Mazyr A.M., Sinilo A.A., Klyputenko M.A. Investigation of the influence of technological parameters of raw fruit processing on changes in the content of phenolic substances. *Food Industry: Science and Technology*. 2023; 16(3): 19–26 (in Russian). EDN CYMNFC
11. Zinner N.S., Vysochina G.I., Kukushkina T.A., Sviridova T.P. Biologically active substances *Hedysarum alpinum* L. and *H. theinum* Krasnob. (*Fabaceae*) introduced to Tomsk region. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2010; (4): 116–122 (in Russian). EDN NMVICX
12. Afonina S.N., Lebedeva E.N., Setko N.P. Biochemistry of the components of tea and especially its biological effect on the organism (review). *Orenburg medica herald*. 2017; 5(4): 17–33 (in Russian). EDN YLYTIZ
13. Jin J.-C. *et al.* Widely targeted metabolomics reveals the effect of different raw materials and drying methods on the quality of instant tea. *Frontiers in Nutrition*. 2023; 10: 1236216. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1236216

ОБ АВТОРАХ:

Ульяна Михайловна Лебедева[1, 2]
• кандидат медицинских наук заведующий лабораторией[1];
• кандидат медицинских наук руководитель Центра лечебного и профилактического питания НИИ здоровья[2]
ulev@bk.ru
https://orcid/0000-0002-8990-3876

Татьяна Васильевна Слепцова[1]
кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
SlepsovaTV@yandex.ru
https:// 0000-0001-5570-3254

Валентина Тихоновна Васильева[1]
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
vasvalt@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0393-324X

Ксения Николаевна Ницievская[3]
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
nitsievskayakn@sfsca.ru
https://orcid.0000-0002-7302-106X

Светлана Владимировна Станкевич[3]
кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
stankevichsv@sfsca.ru
https://orcid.0000-0002-5157-2004

[1] Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова — подразделение Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», ул. Бестужева-Марлинского, 23/1, Якутск, 677001, Россия.

[2] Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
ул. Белинского, 58, Якутск, 677000, Россия.

[3] Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,
ул. Центральная, 7, р. п. Краснообск, Новосибирская область, 630501, Россия.

ABOUT THE AUTHORS

Ulyana Mikhailovna Lebedeva [1, 2]
• Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory[1];
Candidate of Medical Sciences, Head of the Center for Therapeutic and Preventive Nutrition at the Research Institute of Health[2]
ulev@bk.ru
https://orcid/0000-0002-8990-3876

Tatiana Vasilyevna Sleptsova[1]
Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
SlepsovaTV@yandex.ru
https:// 0000-0001-5570-3254

Valentina Tikhonovna Vasilyeva[1]
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
vasvalt@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0393-324X

Kseniya Nikolaevna Nitsievskaya[3]
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
nitsievskayakn@sfsca.ru
https://orcid.0000-0002-7302-106X

Svetlana Vladimirovna Stankevich[3]
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior researcher
stankevichsv@sfsca.ru,
https://orcid.0000-0002-5157-2004

[1] M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture — Division of Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,
23/1 Bestuzhev-Marlinsky st., Yakutsk, 677001, Russia

[2] M. K. Ammosov North-Eastern Federal University,
58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia. Yakutsk, Russia

[3] Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences,
7 Tsentralnaya st., Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia

УДК 025.4:63

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-175-179

Ж.В. Соколова ✉

И.А. Милевская

Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, Москва, Россия

✉ *sjv@cnshb.ru*

Поступила в редакцию: 14.07.2026

Одобрена после рецензирования: 10.08.2026

Принята к публикации: 26.08.2026

© Соколова Ж.В., Милевская И.А.

Создание терминологической базы по проблематике АПК

РЕЗЮМЕ

Представлены результаты научной работы по актуализации политематического Информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию, разрабатываемого в ФГБНУ ЦНСХБ, для точного отображения содержания документов в процессе индексирования, обеспечения унифицированного представления данных, адекватного описания предметных областей и повышения поисковых возможностей тезауруса. Рассматриваются основные функции тезауруса, представляющего собой сложную терминологическую систему, между элементами которой (лексическими единицами) существуют различные виды смысловых отношений. В процессе актуализации тезауруса выполнялись следующие работы: отбор и нормализация лексических единиц; построение классификационных схем; редактирование уже вошедших в тезаурус лексических единиц. В исследовании осуществлено обогащение контента информационно-поискового тезауруса новой лексикой по следующим тематическим областям: защита растений, энзимология, лесное хозяйство, декоративное садоводство, пищевая и перерабатывающая промышленность. Результатом научной работы по актуализации явилась новая версия тезауруса, содержащая 72 552 лексических единиц. Более 35 400 терминов являются научными (латинским) наименованиями организмов (из них 1780 новые). Всего было откорректировано (добавлено, изменено, удалено) более 4100 понятий. Актуализированная версия тезауруса, включающая новую терминологию, дает возможность адекватного описания предметных областей, точного раскрытия содержания документа в процессе его научной обработки и является эффективным средством индексирования и тематического поиска. Создание и развитие Информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию ФГБНУ ЦНСХБ соответствует современному уровню развития тезаурусов. Объем тезауруса, развитость его словарных статей, представленные в нем смысловые связи терминов, позволяют достаточно полно описывать предметные области, относящиеся к проблематике АПК.

Ключевые слова: информационно-поисковые тезаурусы, лингвистическое обеспечение, терминология, лексика, поиск информации, АПК, базы данных, ЦНСХБ

Для цитирования: Соколова Ж.В., Милевская И.А. Создание терминологической базы по проблематике АПК. *Аграрная наука*. 2026; 410(09): 175–179. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-175-179

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-410-09-175-179

Zhanna V. Sokolova

Irina A. Milevskaya

Central Scientific Agricultural Library, Moscow, Russia

✉ *sjv@cnshb.ru*

Received by the editorial office: 14.07.2026

Accepted in revised: 10.08.2026

Accepted for publication: 26.08.2026

© Sokolova Zh.V., Milevskaya I.A.

Development of a Terminological Base on the Problems of the Agro-Industrial Complex

ABSTRACT

The results of the scientific work for updating the Polythematic Information Search Thesaurus of Agriculture and Foods, developed at the FSBSI CSAL, are presented; the updating is aimed at accurately representing the content of documents in the process of indexing, providing the unified data presentation, adequately describing subject domains and increasing the searching possibilities of the thesaurus. The main functions of the thesaurus are considered; the thesaurus is a complicated terminological system, between the elements of which (lexical items) there are different types of sense relations. In the process of updating the thesaurus, the following work was carried out: selection and normalization of lexical items; building of classification schemes; editing of lexical items already included in the thesaurus. In the study, the content of the information search thesaurus was enriched with new lexis in the following subject domains: plant protection, enzymology, forest husbandry, ornamental horticulture, food and processing industry. The result of the scientific work for updating was a new thesaurus version comprising 72 552 lexical items. More than 35 400 terms are scientific (Latin) names of organisms (of them 1780 are new). Totally more than 4100 concepts were corrected (added, amended, deleted). The updated version of the thesaurus, comprising new terminology, enables adequately describing subject domains and accurately disclosing the content of a document during its scientific processing, and is an effective tool for indexing and thematic searching. The generation and development of the Information Search Thesaurus of Agriculture and Foods of the FSBSI CSAL meet the state-of-the-art of thesauri. The scope of the thesaurus, the capacity of its lexical entries and the sense relations of terms presented in it allow sufficiently fully describing the subject domains relating to the problems of the Agro-Industrial Complex.

Key words: information search thesauri, linguistic support, terminology, lexis, information search, AIC, databases, CSAL

For citation: Sokolova Zh.V., Milevskaya I.A. Development of a Terminological Base on the Problems of the Agro-Industrial Complex. *Agrarian science*. 2026; 410(09): 175–179 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-410-09-175-179

Введение/Introduction

Объем электронных документов, с которыми сталкивается человек, постоянно растет. И задача поиска информации приобретает все большую актуальность [1].

Обеспечение высокого качества информационного поиска является ключевой задачей современных поисковых систем. С постоянным увеличением объемов информации все более актуальной становится задача повышения пертинентности результатов поиска, то есть выбора из всего множества документов коллекции только тех элементов, что удовлетворят нужды пользователя и будут соответствовать его ожиданиям [2].

Современная научная картина мира, отличаясь интеграционным характером междисциплинарных связей, динамичными изменениями, прежде всего репрезентируется терминологией, отражающей все наиболее значимые признаки любых научных областей. Более того, терминология — один из важных и объективных параметров научной коммуникации ученых/преподавателей/учащихся как в российском, так и в международном научно-образовательном сообществе. Традиционным и наиболее распространенным представлением терминологии в сетевых научно-информационных системах являются отраслевые информационно-поисковые тезаурусы (ИПТ) [3]. Использование словарей контролируемой лексики особенно необходимо в больших базах данных (БД), охватывающих множество тем [4].

Тезаурус — это огромная коллекция слов, организованных в словарной системе в соответствии со смысловыми связями и на основании связей между характеристиками объектов. Коннотации терминов, семантические связи и практическое использование тезаурусов являются важными академическими задачами терминологической лексикографии или терминографии [5].

При создании ИПТ ключевым этапом является выбор терминов для их наполнения. В тезаурус следует включать понятия, которые часто встречаются в научной литературе, с учетом их эффективности для поиска документов. Отбор лексики носит, таким образом, не формальный, а содержательный характер и предполагает постоянное соотнесение терминологии тезауруса с реальным документальным потоком отрасли. Важность и актуальность исследований в области использования терминов тезауруса в поисковом запросе определяются возрастающим потоком цифровых данных и разнообразием их типов, необходимостью работы с научной информацией, особенностями предметных областей в междисциплинарных исследованиях [6].

ИПТ — это словарь, в котором слова и словосочетания с близкими значениями сгруппированы в единицы, называемыми понятиями, концептами или дескрипторами, и в которых явно (в виде отношений, иерархии) указываются семантические отношения между этими понятиями [7].

В основные функции тезауруса входят: сбор, нормализация и систематизация используемой в научной литературе лексики; индексирование документов и поисковых запросов; обеспечение согласованного, единообразного и формализованного представления информации в БД и ее продуктах; обеспечение полноты и точности тематического поиска путем программной реализации иерархических отношений и отношений синонимии; формально-логический контроль терминов индексирования БД; функция терминологического справочного пособия. Перечисленные функции реализуются во взаимосвязи и в совокупности обеспечивают целостность тезауруса как лингвистического средства информационно-поисковой системы.

Тезаурус как специализированный словарь должен отражать актуальное состояние науки, современную терминологию, которая широко применяется в научных публикациях. При этом он должен сохранять преемственность с классическими понятиями и устоявшимися формами. Таким образом, ИПТ является средством индексирования, тематического поиска и представления отраслевой научной терминологии.

Тезаурус представляет собой сложную терминологическую систему, (систему научных понятий с их связями), в которой термины — лексические единицы (ЛЕ), обогащены связями синонимии и приведены в структуру, не противоречащую системам научных классификаций (наоборот, опираются и базируются на них) и обеспечивающую возможность построения гибких стратегий информационного поиска [8]. Именно упорядоченность смысловых связей между ЛЕ позволяет тезаурусу выступать не простым перечнем терминов, а моделью научного знания отрасли.

Понятийный аппарат тезауруса должен учитывать тенденции развития науки и практики, и его лексическая база должна постоянно пополняться, редактироваться, актуализироваться, позволяя адекватно отображать содержание документа, для обеспечения качества индексирования, влияющего на эффективность тематического поиска. От полноты представления отраслевой лексики в тезаурусе зависит напрямую точность отображения содержания документа, эффективность поиска [9].

В области АПК развитие научных исследований обусловливает необходимость более глубокого подхода к систематизации научных знаний и требует постоянного совершенствования терминологической базы отрасли. Нормализация и гармонизация терминологии, отражающей современное состояние науки и практики, лежит в основе научной обработки документов и во многом определяет результативность поиска необходимой информации.

В Российской Федерации ведущим центром, разрабатывающим лингвистические средства для автоматизированных информационно-поисковых

систем АПК, является Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральная научная сельскохозяйственная библиотека» (ЦНСХБ).

Для индексирования документов и поиска информации в политематической БД собственной генерации «АГРОС» в ЦНСХБ используется Информационно-поисковый тезаурус по сельскому хозяйству и продовольствию. Тезаурус по сельскому хозяйству и продовольствию можно рассматривать как модель, систему терминов наук АПК и как наиболее полный и актуализированный терминологический отраслевой справочник [10].

В ЦНСХБ проведена научная работа по обогащению контента Информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию новой отраслевой лексикой в соответствии с современным состоянием науки и практики.

Целью работы являлась актуализация политематического ИПТ для точного раскрытия содержания документов в процессе индексирования, обеспечения унифицированного представления данных, адекватного описания предметных областей, повышения поисковых возможностей тезауруса и адекватного отображения терминологической базы отрасли.

Материал и методы исследования / Material and methods

Работа над созданием ИПТ велась в соответствии с ГОСТ 7.25-2001[1] и ГОСТ Р 7.0.91-2015 (ИСО 25964-1:2011)[2], а также методикой создания ИПТ, разработанной в ЦНСХБ[3].

Методикой определены следующие этапы работы по актуализации ИПТ: отбор ЛЕ; нормализация ЛЕ; построение классификационных схем; редактирование уже вошедших в ИПТ ЛЕ.

В процессе актуализации Информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию выполнялись следующие работы:

✓пополнение контента ИПТ новой лексикой;

✓установление и развитие иерархических отношений между терминами (построение иерархических деревьев) с учетом внеконтекстных логических связей между отображаемыми ими понятиями;

✓выявление и ввод новых терминов-синонимов, установление отношений синонимии для существующих ЛЕ тезауруса, устранение неоднозначности терминов;

✓установление ассоциативных отношений между терминами в связи с вводом новых ЛЕ, редактирование иерархических связей, замена их ассоциативными в целях рационального расширения ПОД;

✓ввод комментариев к сложным или неоднозначным понятиям;

✓удаление устаревших и ошибочных терминов, их замена, исправление ошибок в написании терминов.

ЛЕ тезауруса приписывались так называемые связанные данные, в частности, англоязычные эквиваленты в международных тезаурусах по сельскому хозяйству CABI и AGROVOC.

Важнейшей составляющей работы с ИПТ являлась нормализация отобранных для включения в ИПТ терминов, их семантическая и лексическая обработка. Семантическая обработка состояла в выявлении максимально возможно полного синонимического ряда и установлении (выборе) из ряда синонимов одного в качестве дескриптора.

Выбор делался на основе анализа публикаций по конкретной теме, выявлении наиболее часто встречаемого в публикациях термина, проверки выявленной формулировки по ГОСТам, энциклопедиям, терминологическим словарям, отечественным и международным базам данных и тезаурусам. Поскольку выбранный термин будет использоваться в качестве дескриптора, т. е. разрешенного к индексированию и рекомендуемого к использованию в научных публикациях и научной коммуникации термина, этот этап работы является важнейшим в процессе актуализации ИПТ.

Лексическая обработка включала выбор формулировки с точки зрения написания, падежа, единственного или множественного числа термина в ИПТ.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В исследовании осуществлено обогащение контента ИПТ новой лексикой и иерархическими деревьями по следующим тематическим областям: защита растений, энзимология, лесное хозяйство, декоративное садоводство, пищевая и перерабатывающая промышленность.

В терминологической области Защита растений в разделе Фитопатология продолжена работа по редактированию и пополнению словарной статьи Helotiales (Гелоциевые) — порядка грибов класса Leotiomycetes. Введено крупное семейство Sclerotiniaceae порядка Helotiales, многие представители которого являются экономически значимыми патогенами культурных растений. Введено относящееся к классу Sordariomycetes семейство Glomerellaceae, ранее введенный род которого Colletotrichum пополнен 30 видами. Отредактирована словарная статья Hypocreales (ранее введенный порядок класса Sordariomycetes). Род Acremonium пополнен 11 видами. Добавлено семейство Nectriaceae, ранее введенный род

[1] ГОСТ 7.25-2001. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный. Правила разработки, структура, состав и форма представления : издание официальное

[2] ГОСТ Р 7.0.91-2015. Тезаурусы для информационного поиска.

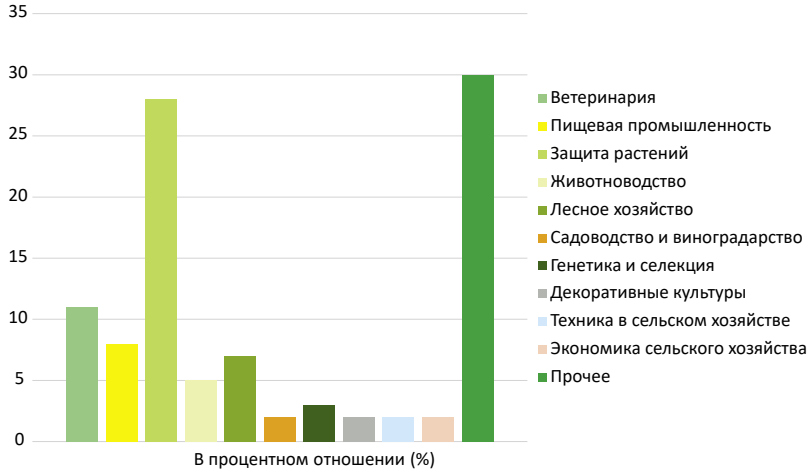
[3] Пирумова Л.Н., Харченко Л.Т. Тезаурус по сельскому хозяйству и продовольствию: индексирование документов и поиск информации в БД АГРОС. (Методические материалы). — М., 2001. 70 с.

которого Fusarium пополнен 50 видами и специализированными формами. Всего в данный тематический раздел введено около 1300 ЛЕ.

В терминологической области Энзимология отредактирована и существенно дополнена (около 300 ЛЕ) словарная статья Ферменты. Новыми ЛЕ пополнена словарная статья Гидролазы. Отредактированы и пополнены следующие классы ферментов: изомеразы, лигазы, лиазы.

Отредактирован и существенно пополнен (53 ЛЕ) обширный класс ферментов оксидоредуктазы. Введены наименования ферментов, их подклассов и подподклассов в классе ферментов трансферазы. Отредактирован и пополнен (20 ЛЕ) обширный подкласс трансфераз киназы (по другим классификациям — самостоятельный класс ферментов).

Рис. 1. Долевое распределение отраслей знаний в тезаурусе, %
Fig. 1. Shared distribution of subject areas in the thesaurus, %



В терминологической области Лесное хозяйство добавлены 88 видов ивы (Salix), 37 видов березы (Betula), 25 видов дуба (Quercus), 27 видов клена (Acer), а также отдельные виды тополя (Populus), липы (Tilia), сосны (Pinus), граба (Caprinus), ольхи (Alnus), ели (Picea), можжевельника (Juniperus), кипариса (Cupressus) и лиственницы (Larix).

Терминологическая область Декоративное садоводство пополнена 84 видами рододендрона (Rhododendron), 9 видами сирени (Syringa), 6 видами вейгелы (Weigela).

Терминологическая область Пищевая промышленность пополнена 67 ЛЕ, относящимися к таким отраслям как элеваторная и мукомольно-крупяная промышленность; хлебопекарная и макаронная промышленность; кондитерская промышленность; сахарная промышленность; пивоваренная промышленность; винодельческая промышленность; промышленность безалкогольных напитков; консервная, овощесушильная и пищеконцентратная промышленность; пищевкусовая промышленность.

Результатом научной работы по актуализации явилась новая версия ИПТ, содержащая 72552 ЛЕ. Более 35400 ЛЕ являются научными (латинским) наименованиями организмов (из них 1780 новые). Всего было откорректировано (добавлено, изменено, удалено) более 4100 ЛЕ. Добавлено 1566 ЛЕ со статусом синоним, из них 954 ЛЕ является научными названиями организмов.

Отрасли знаний представлены в тезаурусе следующим образом: ветеринария — 11%; пищевая и перерабатывающая промышленность — 8%; защита растений — 28%, животноводство — 5%; лесное хозяйство — 7%; садоводство и виноградарство — 2%; генетика и селекция — 3%; декоративные культуры — 2%; техническое обеспечение АПК — 2%; экономика сельского хозяйства — 2%; прочие — 30% (рисунок 1).

Выводы/Conclusion

Осуществлено обогащение контента политематического Тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию новой лексикой по следующим тематическим областям: защита растений, энзимология, лесное хозяйство, декоративное садоводство, пищевая и перерабатывающая промышленность.

Актуализированная версия тезауруса общим объемом 72552 ЛЕ, включающая новую терминологию, дает возможность адекватного описания предметных областей, точного раскрытия содержания документа в процессе его научной обработки и является эффективным средством индексирования и тематического поиска.

ИПТ является средством нормализации отраслевой терминологии. Использование тезауруса в качестве терминологического справочника способствует внедрению стандартизированной, нормализованной, унифицированной лексики.

Создание и развитие ИПТ ЦНСХБ соответствует современному уровню развития тезаурусов. Объем ИПТ, развитость его словарных статей, представленные в нем смысловые связи терминов, позволяют достаточно полно описывать предметные области, относящиеся к проблематике АПК.

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. Коломойцева И.А., Бердюкова С.С. Особенности определения отношений в тезаурусе в области программирования. *Информатика и кибернетика*. 2025; (3): 69–72. EDN KPETSR
2. Рогаленко Н.А. Расширение поисковых запросов с использованием семантической сети с учетом контекста поиска. *XII Конгресс молодых ученых. Сборник научных трудов*. СПб.: Университет ИТМО. 2023; 1: 373–377. EDN KGBMDT
3. Антопольский А.Б., Белоозеров В.Н., Каленов Н.Е., Маркарова Т.С. О развитии терминологической базы в виде комплекса отраслевых информационно-поисковых тезаурусов. *Информационные ресурсы России*. 2018; (5): 22–30. EDN YLGGXJ
4. Гончаров М.В., Колосов К.А. Проблемы релевантности при обработке поисковых запросов к библиографическим и полнотекстовым базам данных в современных моделях обеспечения научных исследований средствами открытых архивов. *Научные и технические библиотеки*. 2022; (11): 120–134. https://doi.org/10.33186/1027-3689-2022-11-120-134
5. Цзюй Юньшэн. К вопросу исследования тезауруса в российском и китайском языкознании: толкование значения и роль в научной терминологии. *Вестник Московского университета. Серия 22. Теория перевода*. 2023; 16(1): 133–150. EDN CHJNRU
6. Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П. Формирование расширенных поисковых запросов на основе тезауруса предметной области в онтологии знаний семантической библиотеки. *Электронные библиотеки*. 2020; 23(3): 271–291. https://doi.org/10.26907/1562-5419-2020-23-3-271-291
7. Лукашевич Н.В. Тезаурусы в задачах информационного поиска. М.: *Издательство Московского университета*. 2011; 508. ISBN 978-5-211-05926-9. EDN RBBMVR
8. Пирумова Л.Н. Нормализация и гармонизация отраслевой терминологии в отраслевом тезаурусе: цели и задачи. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2018; 52: 181–187. EDN XMSYRN
9. Соколова Ж.В. Тезаурус как источник нормализованной отраслевой научной лексики. *Библиотечно-информационный дискурс*. 2022; 2(2): 19–23. https://doi.org/10.47612/2791-2841-2022-2-2-19-23
10. Бунин М.С., Коленченко И.А., Пирумова Л.Н. Общеотраслевые лингвистические средства: роль в информационном обеспечении научных исследований агропромышленного комплекса России. *Научные и технические библиотеки*. 2020; (12): 127–142. https://doi.org/10.33186/1027-3689-2020-12-127-142

REFERENCES

1. Kolomoitseva I.A., Berdiukova S.S. Specifics of defining relationships in the thesaurus in the sphere of programming. *Informatics and Cybernetics*. 2025; (3): 69–72 (in Russian). EDN KPETSR
2. Rogalenko N.A. Expansion of search queries using a semantic network taking into account the search context. *XII Congress of young scientists. Collection of scientific papers*. St. Petersburg: ITMO University. 2023; 1: 373–377 (in Russian). EDN KGBMDT
3. Antopolsky A.B., Beloozerov V.N., Kalenov N.E., Markarova T.S. About development of terminological database in the form of a complex of branch information retrieval thesauruses. *Information resources of Russia*. 2018; (5): 22–30 (in Russian) EDN YLGGXJ
4. Goncharov M.V., Kolosov K.A. Relevance in processing search queries to bibliographic and fulltext databases in the modern models of scientific research support through open archives. *Scientific and Technical Libraries*. 2022; (11): 120–134 (in Russian). https://doi.org/10.33186/1027-3689-2022-11-120-134
5. Ju Yunsheng. On the issue of thesaurus research in Russian and Chinese linguistics: interpretation of meaning and role in scientific terminology. *Moscow University Translation Studies Bulletin*. 2023; 16(1): 133–150 (in Russian). EDN CHJNRU
6. Ataeva O.M., Serebriakov V.A., Tuchkova N.P. Creation of query expansion based on the subject domain thesaurus in the ontology of knowledge of the semantic library. *Russian Digital Libraries Journal*. 2020; 23(3): 271–291 (in Russian). https://doi.org/10.26907/1562-5419-2020-23-3-271-291
7. Lukashevich N.V. Thesauri in information retrieval tasks. Moscow: *Moscow University*. 2011; 508 (in Russian). ISBN 978-5-211-05926-9. EDN RBBMVR
8. Pirumova L.N. Normalization and harmonization of sectoral terminology in the branch thesaurus: goals and objectives. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2018; 52: 181–187 (in Russian). EDN XMSYRN
9. Sokolova Z.V. Thesaurus as a source of normalized branch scientific vocabulary. *Library & Information Discourse*. 2022; 2(2): 19–23 (in Russian). https://doi.org/10.47612/2791-2841-2022-2-2-19-23
10. Bunin M.S., Kolenchenko I.A., Pirumova L.N. Industry-wide linguistic instruments: The role in information support of scientific research in Russia's agricultural industry. *Scientific and Technical Libraries*. 2020; (12): 127–142 (in Russian). https://doi.org/10.33186/1027-3689-2020-12-127-142

ОБ АВТОРАХ

Жанна Владимировна Соколова
старший научный сотрудник
sjv@cnshb.ru
https://orcid.org/0000-0001-7202-6320

Ирина Антоновна Милевская
старший научный сотрудник
mia@cnshb.ru
https://orcid.org/0000-0001-5649-5637

Центральная научная сельскохозяйственная библиотека,
Орликов переулок, 3Б, Москва, 107140, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Zhanna Vladimirovna Sokolova
Senior Researcher
sjv@cnshb.ru
https://orcid.org/0000-0001-7202-6320

Irina Antonovna Milevskaya
Senior Researcher
mia@cnshb.ru
https://orcid.org/0000-0001-5649-5637

Central Scientific Agricultural Library,
3B Orlikov lane, Moscow, 107140, 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

Реклама