

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

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

10
2026



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Наш
канал
в МАКС



Наш
Telegram
канал



ЗООТЕХНИЯ

Бюджет времени молочной коровы для бесконтактного мониторинга состояния здоровья

62

АГРОНОМИЯ

Изменчивость показателей качества сортов озимой твердой пшеницы

90

ЭКОНОМИКА

Анализ текущего состояния и прогнозных тенденций мирового и российского рынков мяса

134

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



© журнал «Аграрная наука»

© авторы

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.

Подписано в печать 12.10.2026

Дата выхода в свет 19.10.2026

Отпечатано в типографии

ООО «Поли Принт Сервис», 127015,

г. Москва, ул. Бутырская, д. 86

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

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

Издатель:

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора:

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

Редакционная коллегия

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АГРОНОМИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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



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 12.10.2026

Release date 19.10.2026

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

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

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

Publisher:

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

Deputy Editor-in-Chief

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

THE EDITORIAL BOARD

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

Javanmard M., Doctor of Veterinary Medicine, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

Koshchaev A.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

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

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

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

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Both Russian and foreign authors are invited to publication.

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

AGRONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ

Андреев С.А. Изучение иммунобиологических свойств вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» на целевых животных	8
Явников Н.В., Капай Н.А., Москвина А.Л. Изучение переносимости ветеринарного препарата «ГастроПро» на кошках	16
Антоневский И.В., Лещёва Н.А., Плешакова В.И., Фрик Е.В. Фенотипические изменения биопленкообразования <i>Escherichia coli</i> при воздействии антибактериальных препаратов и их сочетаний	25
Алейникова О.В., Ермилова А.П., Митяшова О.С., Лебедева И.Ю. Липидные и стероидные профили крови у коров и телок голштинской породы при разном выходе эмбрионов после полиовуляторной стимуляции	32
Дерхо М.А., Гриценко С.А., Бурков П.В., Ребезов М.Б., Чильчагов Б.Р. Характеристика гистологических и морфометрических свойств тощей кишки у цыплят-бройлеров мясных кроссов	39
Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Мясо зайцев: пищевая ценность, безопасность и правовые аспекты (научный обзор, часть 1)	53

ЗООТЕХНИЯ

Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Базаев С.О., Тарасов В.Р., Ершова И.Г. Бюджет времени молочной коровы для бесконтактного мониторинга состояния здоровья	62
Карлова Е.Д., Степаненко В.А., Суров А.И., Омаров А.А., Шпыгова В.М. Ассоциация полиморфизма генов <i>PRL</i> , β - <i>LG</i> и <i>LEP</i> с показателями качественного состава молока овец дагестанской горной породы и их помесей	69

АГРОНОМИЯ

Окунев Р.В., Белякова С.В., Мухаметвалеев Л.Р., Курынцева П.А., Тойгильдин А.Л., Селивановская С.Ю. Влияние технологии прямого посева с промежуточными культурами на динамику меди в почве и растениях сои	78
Шпанев А.М., Смух В.В. Эффективность гербицидной обработки посевов яровой тритикале в Ленинградской области	84
Ковтунова Н.А., Марченко Д.М., Иванисова А.С., Дубинина О.А., Кравченко Н.С. Изменчивость показателей качества сортов озимой твердой пшеницы	90
Бакулова И.В. Повышение продуктивности сорта конопля Людмила путем регулирования нормы посева и применения foliarных подкормок	97
Бандык С.В., Латыпова А.А., Лисина Т.Н., Елохова Е.А., Печенкина В.А. Изучение продуктивности растений и качества мини-клубней картофеля разных сортов	104

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бурак Л.Ч., Лукин А.А., Ансори А.Н.М. Многочастотный высокоинтенсивный ультразвук в пищевой промышленности: применение, эффективность, проблемы и перспективы	111
---	-----

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

Смирнова В.В. Анализ устойчивости и эффективности развития крупных свиноводческих предприятий в Северо-Западном федеральном округе	126
Петрунина И.В., Горбунова Н.А., Ребезов М.Б. Анализ текущего состояния и прогнозных тенденций мирового и российского рынков мяса: сопоставление данных FAO, USDA и OECD	134
Строев П.В., Конищев Е.С., Пивоварова О.В. Оценка продовольственной обеспеченности регионов России на основе доходных, потребительских и ценовых параметров	147
Петрушевский Ю.Л., Аксёнова Е.А. Волатильность производственной базы и фискальная позиция аграрных регионов России: многомерная типология субъектов	159
Шевченко Ю.В., Москалева Л.Ю., Троицкая Т.С., Троицкая Е.М. Кадровое обеспечение агропромышленного комплекса: балансовая оценка вклада высшего аграрного образования в покрытие годовой потребности отрасли	167

CONTENTS

VETERINARY MEDICINE

<i>Andreev S.A.</i> Study of the immunobiological properties of the ARRIAH-BoviRes-BRSV vaccine in target animals	8
<i>Yavnikov N.V., Kapay N.A., Moskvina A.L.</i> Study of the tolerability of the veterinary drug "GastroPro" on cats	16
<i>Antonevsky I.V., Lescheva N.A., Pleshakova V.I., Frik E.V.</i> Phenotypic changes in biofilm formation of <i>Escherichia coli</i> under the influence of antibacterial drugs and their combinations	25
<i>Aleynikova O.V., Yermilova A.P., Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu.</i> Lipid and steroid blood profiles in Holstein cows and heifers at different embryo yields after polyovulatory stimulation	32
<i>Derkho M.A., Gritsenko S.A., Burkov P.V., Rebezov M.B., Chilchagov B.R.</i> Characteristics of the histological and morphometric properties of the jejunum in broiler chickens of meat crossbreeds.....	39
<i>Rebezov Ya.M., Rebezov M.B.</i> Hare meat: nutritional value, safety and legal aspects (scientific review, part 1).....	53

ZOOTECHNICS

<i>Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Khakimov A.R., Bazaev S.O., Tarasov V.R., Ershova I.G.</i> Cow time budget for non-contact health.	62
<i>Karpova E.D., Stepanenko V.A., Surov A.I., Omarov A.A., Shpygova V.M.</i> Association of PRL, β -LG and LEP gene polymorphisms with milk composition traits in Dagestan Mountain sheep and their crossbreeds	69

AGRONOMY

<i>Okunev R.V., Belyakova S.V., Mukhametvaleev L.R., Kuryntseva P.A., Toigildin A.L., Selivanovskaya S.Yu.</i> The influence of direct seeding technology with intercrops on the dynamics of copper in soil and soybean plants	78
<i>Shpanev A.M., Smuk V.V.</i> Effectiveness of herbicidal treatment of spring triticale crops in the Leningrad region	84
<i>Kovtunova N.A., Marchenko D.M., Ivanisova A.S., Dubinina O.A., Kravchenko N.S.</i> Variability of quality indicators of winter durum wheat varieties	90
<i>Bakulova I.V.</i> Increasing the productivity of the Lyudmila hemp variety by adjusting the seeding rate and using foliar fertilizers.....	97
<i>Bandyk S.V., Latypova A.A., Lisina T.N., Elokova E.A., Pechenkina V.A.</i> Study of plant productivity and quality of potato mini-tubers of different varieties.....	104

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Burak L.Ch., Lukin A.A., Ansori A.N.M.</i> Multifrequency high-intensity ultrasound in the food industry: application, efficiency, problems and prospects	111
--	-----

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

<i>Smirnova V.V.</i> Analysis of the sustainability and effectiveness of the development of large pig breeding enterprises in the North-Western Federal District	126
<i>Petrulina I.V., Gorbunova N.A., Rebezov M.B.</i> Analysis of the Current State and Projected Trends of the Global and Russian Meat Markets: A Comparison of FAO, USDA, and OECD Data	134
<i>Stroev P.V., Konishchev E.S., Pivovarova O.V.</i> Assessing Food Provision In Russianian Regions Based on Income, Consumption, and Price Parameters	147
<i>Petrushevsky Yu.L., Aksenova E.A.</i> Volatility of the production base and fiscal position of Russia's agrarian regions: a multidimensional typology of federal subjects	159
<i>Shevchenko Yu. V., Moskaleva L. Yu., Troitskaya T. S., Troitskaya E. M.</i> Personnel provision of the agro-industrial complex: a balance-based assessment of the contribution of higher agricultural education to covering the annual sectoral demand.....	167

УДК 619:578.831.31:636.22/.28:615.371

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-8-15

С.А. Андреев

Федеральный центр охраны
здоровья животных (ФГБУ
«ВНИИЗЖ»), г. Владимир, Россия

✉ andreev_sa@arriah.ru

Поступила в редакцию: 31.03.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Андреев С.А.

Изучение иммунобиологических свойств вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» на целевых животных

РЕЗЮМЕ

Инфекционные респираторные заболевания вирусной природы (парагрипп-3, инфекционный ринотрахеит, вирусная диарея, респираторно-синцитиальная инфекция крупного рогатого скота) считаются одними из наиболее распространенных патологий, вызывающих значительные экономические потери в животноводстве.

В настоящее время препарат Hiprabovis-4 является единственным средством специфической профилактики указанных выше заболеваний на отечественном рынке. Учитывая его иностранное происхождение, данная вакцина не может рассматриваться в качестве надежного инструмента борьбы с экономически значимыми заболеваниями респираторной этиологии, так как его поставки могут быть нарушены или полностью прекращены. Следовательно, разработка отечественного полного аналога указанного препарата является актуальной задачей для эпизоотической безопасности поголовья КРС Российской Федерации.

Представленные исследования подтвердили эффективность отечественной вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ».

В исследовании представлены результаты определения иммунизирующей дозы способа введения, антигенной активности и безопасности нового препарата для крупного рогатого скота.

Испытания проводились на естественно-восприимчивых животных. Антигенную активность препарата определяли при помощи иммуноферментного анализа.

Результаты показали, что вакцина «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» не вызывает изменений в тканях на месте введения и индуцирует выработку специфических антител против возбудителей инфекций, входящих в ее состав. Доказана эффективность выбранной схемы иммунизации (двукратное, с интервалом в 21 сутки, внутримышечное введение 2 мл препарата), которая обеспечивает стабильную иммунную защиту животных на 35 суток после начала вакцинации.

Ключевые слова: профилактика респираторных инфекций, респираторные инфекции телят, БовиРес-РСВИ, ассоциированная вакцина, парагрипп 3, инфекционный ринотрахеит, вирусная диарея, респираторно-синцитиальная инфекция

Для цитирования: Андреев С.А. Изучение иммунобиологических свойств вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» на целевых животных. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 8–15. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-8-15>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-8-15

Sergey. A. Andreev

Federal Center for Animal Health
(FGBI «ARRIAH»), Vladimir, Russia

✉ andreev_sa@arriah.ru

Received by the editorial office: 31.03.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Andreev S.A.

Study of the immunobiological properties of the ARRIAH-BoviRes-BRSV vaccine in target animals

ABSTRACT

Infectious viral respiratory diseases in cattle — including bovine parainfluenza-3, infectious bovine rhinotracheitis, bovine viral diarrhea, and bovine respiratory syncytial virus infection — are among the most prevalent pathologies in livestock farming, causing substantial economic losses.

Currently, the foreign-origin vaccine Hiprabovis4 is the only product available on the domestic market for preventing these diseases. However, its dependence on external supply renders it an unreliable tool for controlling economically significant respiratory infections, as availability may be disrupted or even completely halted.

Thus, creating a domestic, fullfledged analogue of this vaccine is a critical task to safeguard cattle from these diseases in the Russian Federation.

The presented studies evaluated the domestic vaccine ARRIAHBoviResBRSV and confirmed its effectiveness. This paper describes the determination of its immunizing dose, route of administration, antigenicity, and safety for cattle. Testing was conducted on naturally susceptible animals, and antigenicity was assessed using an enzymelinked immunosorbent assay. The results showed that the ARRIAHBoviResBRSV vaccine induces specific antibodies against the component viruses without causing pathological changes at the injection site. The proposed immunization regimen — two intramuscular administrations of 2 mL given 21 days apart — was shown to provide stable immune protection within 35 days after the start of vaccination.

Key words: prevention of respiratory infections, respiratory infections of calves, BoviRes-BRSV, combined vaccine, bovine parainfluenza-3, infectious bovine rhinotracheitis, bovine viral diarrhea, infection with bovine respiratory syncytial virus

For citation: Andreev S.A. Study of the immunobiological properties of the ARRIAH-BoviRes-BRSV vaccine in target animals. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 8–15 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-8-15>

Введение/Introduction

Основными возбудителями вирусной этиологии респираторных заболеваний КРС на территории РФ являются парагрипп-3 (ПГ-3), инфекционный ринотрахеит (ИРТ), респираторно-синцитиальная вирусная инфекция (РСВИ) и вирусная диарея (ВД) [1–4]. По данным Д.А. Петрова и соавт., за период с 2021 по 2024 гг. на территории Республики Удмуртия возбудитель ПГ-3 был выявлен в 40% случаев, возбудители ИРТ и ВД в 9% и 37% соответственно. Для ретроспективной диагностики использовали парные сыворотки крови: на ПГ-3 в РТГА, на ИРТ и ВД — в РНГА. [5]. Стоит отметить, что из-за респираторных заболеваний ежегодно гибнут до 30% телят в возрасте от 1 до 6 месяцев [6].

Согласно данным, опубликованным П.А. Крайничко и соавт., острые случаи респираторных вирусных инфекций характеризуются чрезвычайно высокой степенью заразности, особенно среди молодняка крупного рогатого скота (КРС). Заболевание распространяется стремительно, зачастую охватывая практически все поголовье в течение десяти дней, при этом уровень смертности может достигать до 50%. Одной из важных характеристик данных инфекций является их склонность к смешанным формам [7].

Особенностью данных вирусов является способность к длительной персистенции в организме животных. Во многих случаях инфекция протекает бессимптомно. Такая особенность затрудняет диагностику и существенно усложняет борьбу с заболеванием, поскольку скрытая форма инфекции способна активно циркулировать среди популяции, оставаясь незамеченной [7].

ИРТ КРС распространен повсеместно, летальность при данном заболевании составляет от 2 до 18%, при заболеваемости поголовья от 50 до 70%. На примере Свердловской области заболевание регистрировали в 5,5% у животных с признаками инфекционной патологии легких [8]. Одной из причин частого возникновения данного заболевания в Свердловской области принято считать скрещивание чкрно-пкстроого скота с быками голштинской породы, которые подвержены заражению инфекционным ринотрахеитом. Средние потери от ИРТ, по данным О.Г. Петровой, проводившей исследования для агропромышленного комбината «Белореченский», составляли: ущерб от снижения продуктивности животных вследствие их заболевания — 36 000 рублей, материальные затраты при лечении острых респираторных вирусных инфекций — 56 400 рублей, ущерб от вынужденного убоя больного КРС некондиционного молодняка — 12 120 рублей, ущерб вследствие потерь приплода — 176 400 рублей. Средние потери достигают 280 920 рублей из расчета на 100 голов [9].

ВД КРС внесена в «Перечень заразных и иных болезней животных», утвержденный приказом № 62 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (от 9 марта 2011 года (с изменениями от 25 сентября 2020 года¹)). К этому заболеванию восприимчив КРС всех возрастных групп. При обнаружении инфекции на хозяйство накладываются ограничения в международной торговле скотом, что приводит по подсчетам экспертов, к потерям в размере 8800–20 000 рублей в пересчете на одно животное. При анализе данных 2017–2021 гг. установлено, что из-за ежегодного увеличения интенсивности ведения молочного и мясного скотоводства наблюдается заметный рост количества исследований, особенно в Центральном и Приволжском федеральных округах. При проведении исследований методами ИФА и ОТ-ПЦР за 2020 год 22% проб, связанных с мониторингом эпизоотической ситуации, проводимых в 53 субъектах РФ, являлись положительными [10]. Сложность профилактики ВД заключается в том, что у одного больного животного могут быть обнаружены разные генотипы вируса [11].

По литературным данным, за 2011–2014 гг. в хозяйствах Восточной Сибири, Краснодарского края и Свердловской области доля ПГ-3 от выявляемых респираторных заболеваний достигала 29%. При детальном анализе случаев заболеваний респираторного тракта у КРС в Свердловской области ПГ-3 регистрировали в 3,36% [12]. Также в результате проведенных исследований по мониторингу распространения ПГ-3 в регионах Сибири установлено, что уровень серопозитивности при данном заболевании может составлять от 22 до 98% [6].

Возбудитель РСВИ является одним из основных патогенных агентов респираторных заболеваний у КРС [13]. Помимо КРС, к восприимчивым животным относятся овцы, козы, бизоны, а также дикие жвачные животные [1]. Наиболее восприимчивыми к РСВИ КРС являются телята в возрасте 2–5 месяцев [14]. Частота заражения РСВИ в молочных стадах зачастую превышает 50% от общего поголовья [15]. Одними из основных причин широкого распространения РСВИ по всему миру является массовая торговля скотом и несоблюдение карантинных мер при поступлении нового поголовья в хозяйство [16]. Показатель серопревалентности к РСВИ КРС в регионах ЦФО РФ может составлять от 58 до 95% (Калужская область, Саратовская, Московская, Тульская, Белгородская, Калининградская, Ярославская области) [16]. За период с 2016 по 2024 гг. в референтной лаборатории болезней КРС ФГБУ «ВНИИЗЖ» проведены исследования проб сывороток крови на наличие антител к вирусу РСВИ, процент положительных результатов составил 85,85%. По опубликованным в 2025 году данным, на территории

¹ Об утверждении Перечня заразных и иных болезней животных. Приказ Минсельхоза России от 09.03.2011 N 62 (ред. от 25.09.2020) (Зарегистрировано в Минюсте России 01.06.2011 N 20921) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. N 28. 11.07.2011.

Республики Удмуртия при исследовании патологического материала методом ПЦР возбудитель РСВИ КРС выделяли в 33,3% проб [5].

Важное значение в поддержании эпизоотического благополучия КРС при заболеваниях, вызванных респираторными инфекциями, имеет вакцинация. Вакцинопрофилактика играет ключевую роль в общей стратегии профилактики инфекционных заболеваний. Наиболее распространенные схемы вакцинации против респираторных заболеваний КРС включают несколько подходов, которые зависят от условий конкретного хозяйства, особенностей региона и рекомендаций производителей вакцин [17].

Традиционная схема для телят предполагает начало вакцинации молодых животных в возрасте 2–3 месяцев с последующей ревакцинацией каждые 3–6 месяцев. Первая вакцинация проводится в возрасте 2–3 месяцев, зачастую используется ассоциированная вакцина, содержащая антигены к основным возбудителям респираторных заболеваний (например, ИРТ, ПГ-3, ВД, РСВИ). Вторая вакцинация выполняется через 3–4 недели после первой инъекции той же вакциной для усиления иммунного ответа. Последующая ревакцинация осуществляется ежегодно или каждые полгода в зависимости от эпизоотической ситуации в регионе.

На современном рынке представлены разнообразные типы вакцин для профилактики респираторных заболеваний у КРС, включая как живые, так и инактивированные препараты. Исследования показывают, что вакцинация телят в период отъема позволяет значительно снизить уровень заболеваемости респираторными патологиями — на 75%, одновременно уменьшая смертность от указанных болезней на 67% [18].

В настоящее время единственным средством специфической профилактики конкретно этих указанных заболеваний, обращающимся на рынке Российской Федерации, является препарат Hiprabovis-4, который имеет иностранное происхождение. При этом в условиях нестабильной геополитической и экономической обстановки он не может рассматриваться в качестве надежного инструмента борьбы с экономически значимыми заболеваниями респираторной этиологии, так как поставки могут быть нарушены или полностью прекращены.

Таким образом, актуальность разработки отечественного препарата, который будет выступать полным аналогом указанной выше вакцины, не вызывает сомнений.

Помимо необходимости иметь адекватный аналог зарубежному препарату, актуальность отечественной вакцины обусловлена тем, что при ее разработке в качестве действующего вещества

были использованы производственные штаммы, выделенные на территории РФ, что обеспечивает их большее антигенное сродство с циркулирующими в России патогенными изолятами.

Общеизвестно, что одним из важнейших характеризующих эффективность инактивированных вакцин свойств является их способность индуцировать у животных соответствующие антигенному составу специфические антитела на протективном уровне. Указанное свойство зависит не только от состава препарата, но и способа его применения.

Целью исследования являлось изучение иммуногенных свойств вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» и определение наиболее эффективного способа иммунизации КРС.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование ассоциированной вакцины против парагриппа-3, инфекционного ринотрахеита, вирусной диареи и респираторно-синцитиальной вирусной инфекции крупного рогатого скота инактивированной эмульсионной «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» было проведено согласно требованиям приказа Минсельхоза России от 14.03.2025 N 153 «Об утверждении Правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения»².

Экспериментальная серия вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» (ФГБУ «ВНИИЗЖ», Россия). Вакцина произведена из культуральных суспензий вируса парагриппа-3 (штамм «ВГНКИ-4», антигенная активность до инактивации 6,0 Ig ТЦД₅₀/см³), вируса инфекционного ринотрахеита (штамм «ВНИИЗЖ», антигенная активность до инактивации 6,0 Ig ТЦД₅₀/см³), вируса вирусной диареи (штамм «NADL-ВНИИЗЖ», антигенная активность до инактивации 6,0 Ig ТЦД₅₀/см³) и вируса респираторно-синцитиальной инфекции (штамм «Вологда/2019», антигенная активность до инактивации 4,0 Ig ТЦД₅₀/см³) крупного рогатого скота, инактивированных 1,2-аминоэтилазиридином с добавлением масляного адьюванта, в соотношении 30:70, по массе вакцины.

Опыт №1 был проведен в контролируемых условиях на базе виварного комплекса ФГБУ «ВНИИЗЖ» города Владимира, мкр. Юрьеvec. Для проведения данного исследования из большого количества заранее проверенного на наличие соответствующих антител поголовья КРС были специально отобраны серонегативные к исследуемым заболеваниям животные.

² Об утверждении Правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения. Приказ Минсельхоза России от 14.03.2025 N 153 (Зарегистрировано в Минюсте России 30.04.2025 N 82039) // Официальный интернет-портал правовой информации <http://pravo.gov.ru>, 05.05.2025.

Опыт №2 был осуществлен в неконтролируемых условиях на базе животноводческого хозяйства Республики Мордовия, Рузаевского района, село Архангельское Голицыно, являющегося неблагополучным по респираторным заболеваниям РСВИ, ПГ-3, ИРТ и ВД. Для опыта №2 из общего поголовья хозяйства было отобрано 10 телят.

Работа проводилась с использованием клинически здоровых телят в возрасте от 2 до 3 месяцев, голштинской породы. Исследования проводились в весенне-летний период.

Исследования проб сывороток крови проводили на базе ФГБУ «ВНИИЗЖ» с использованием «Набора для выявления антител к респираторно-синцитиальному вирусу крупного рогатого скота иммуноферментным методом «РСИ-СЕРОТЕСТ» (Ветбиохим, Россия), «Тест-системы на основе ИФА для выявления антител к вирусу парагриппу-3 КРС» (ФГБУ «ВНИИЗЖ», Россия), «Тест-системы на основе ИФА для выявления антител, направленных против вируса BHV-1» (ID.VET, Франция), «Тест-системы на основе ИФА для выявления антител к Bovine Viral Diarrhoea Virus (BVDV)» (IDEXX, США).

Исследования проб носовых смывов, отобранных однократно с применением тупферов из носовой полости каждого теленка перед введением препарата, проводили на базе ФГБУ «ВНИИЗЖ» в соответствии с: «Методическими рекомендациями по выявлению генома вируса инфекционного ринотрахеита крупного рогатого скота с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени³», «Методическими рекомендациями по выявлению генома вируса парагриппа-3 крупного рогатого скота с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени⁴», «Методическими рекомендациями по выявлению РНК вируса респираторно-синцитиальной инфекции крупного рогатого скота с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени⁵» и Тест-системы «ВД» для выявления возбудителя вирусной диареи крупного рогатого скота методом полимеразной цепной реакции с гибридизационно-флуоресцентной детекцией в режиме «реального времени» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия).

Перед началом вакцинации у всех животных были отобраны пробы носовых смывов, с последующим исследованием наличия геномов возбудителей ПГ-3, ИРТ, ВД и РСВИ КРС методом ПЦР, с использованием Rotor-Gene 6000 (Corbett Research Pty Ltd., Австралия), а также пробы сыворотки крови, с целью определения методом ИФА уровня специфических к указанным возбудителям

антител, с использованием анализатора иммуноферментного SUNRISE-BASIC (Tecan Austria, Австрия).

Для вакцинации животных использовали стерильные одноразовые шприцы. Место введения (средняя треть шеи) обрабатывали 70%-ным раствором этилового спирта.

Опыт №1.

Вакцинация животных была проведена согласно следующей схеме:

Группа №1 — двукратное (с интервалом 21 сутки) подкожное введение 1,0 см³ вакцины на голову;

Группа №2 — двукратное (с интервалом 21 сутки) внутримышечное введение 1,0 см³ вакцины на голову;

Группа №3 — однократное подкожное введение 2,0 см³ вакцины на голову;

Группа №4 — однократное внутримышечное введение 2,0 см³ вакцины на голову;

Группа №5 — двукратное (с интервалом 21 сутки) подкожное введение 2,0 см³ вакцины на голову;

Группа №6 — двукратное (с интервалом 21 сутки) внутримышечное введение 2,0 см³ вакцины на голову;

Группа №7 — контроль вводили физраствор (Гротекс, Россия).

В течение 35 суток после начала иммунизации за животными всех групп вели клиническое наблюдение, отмечая признаки отклонений от физиологической нормы: повышения температуры тела, развитие тканевой реакции в месте введения препарата, апатия, отказ от корма, потеря живой массы и т.д. Клиническое наблюдение показало, что у всех иммунизированных животных отсутствовали какие-либо отклонения от физиологической нормы, в том числе свойственные респираторным заболеваниям.

На 7, 14, 21, 28 и 35 сутки после начала опыта от всех животных отбирали пробы крови с последующим получением сыворотки и определением уровня специфических к возбудителям ПГ-3, ИРТ, ВД и РСВИ антител методом ИФА с применением спектрофотометра Sunrise (производитель Tecan, Австрия).

Опыт №2.

Животных (одна группа), отобранных из общего поголовья хозяйства, в ходе исследования иммунизировали по установленной в опыте №1 схеме (2 мл внутримышечно, двукратно с интервалом 21 сутки). В течение 45 суток после начала опыта ветеринарные специалисты хозяйства вели за животными клиническое наблюдение, отмечая отклонения от физиологической нормы: повышение температуры тела, развитие тканевой реакции в месте введения препарата, апатия, отказ от

³ Методические рекомендации по выявлению генома вируса инфекционного ринотрахеита крупного рогатого скота с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. — Владимир, 2021. — 30 с.

⁴ Методические рекомендации по выявлению генома вируса парагриппа-3 крупного рогатого скота с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. — Владимир, 2021. — 29 с.

⁵ Методические рекомендации по выявлению РНК вируса респираторно-синцитиальной инфекции крупного рогатого скота с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. — Владимир, 2020. — 21 с.

корма, потеря живой массы и т.д.; а также развитие клинических признаков, свойственных респираторным заболеваниям: кашель, истечения из носа, одышка, дыхание через рот и др.

На 21, 35 и 45 сутки со дня вакцинации отбирали пробы сыворотки крови, для определения уровня специфических к возбудителям ПГ-3, ИРТ, ВД и РСВИ антител методом ИФА, на базе референтной лаборатории болезней КРС (Лабораторно-диагностический центр / Всероссийский научный исследовательский институт здоровья животных — филиал ФГБУ ВНИИЗЖ, Россия).

Обработка полученных данных производилась стандартными статистическими методами с использованием программы Microsoft Excel (США): вычисление среднего арифметического, определение стандартного отклонения.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты опыта №1. Клиническое наблюдение не выявило отклонений от физиологической нормы как у вакцинированных животных, так и у животных контрольной группы: температура тела находилась в пределах нормы, изменения в поведении и ухудшение аппетита не наблюдались, уменьшение живой массы тела не было выявлено. Признаков заболевания ИРТ, ПГ-3, ВД и РСВИ у вакцинированных животных не регистрировалось.

Результаты ПЦР-исследований отобранных до вакцинации носовых смывов показали, что ни в одной из отобранных в ходе опыта пробе не было выявлено наличие геномов возбудителей инфекций, входящих в состав вакцинного препарата. Таким образом, было установлено, что все животные, использованные в опытах, не были инфицированы возбудителями, антигены которых входят в состав препарата «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ».

Исследования отобранных проб сыворотки крови показали, что специфические к возбудителям ИРТ, ПГ-3, ВД и РСВИ антитела не были выявлены у животных до вакцинации. При этом в сыворотке крови всех вакцинированных животных они достигали минимально необходимого уровня через 35 суток после начала иммунизации (табл. 1).

Наибольшее количество антител наблюдали при двукратном с интервалом 21 сутки внутримышечном введении препарата в объеме 2,0 мл (рис. 1–4).

Таблица 1. Пороговые значения уровня специфических антител, в сыворотке крови иммунизированных животных

Table 1. Threshold values of the level of specific antibodies in the blood serum of immunized animals

Наименование вирусного агента	Пороговый уровень антител	Характеристика
ИРТ	$\geq 1:64$, титр / $6 \log_2$	Положительный уровень
ПГ-3	$\geq 40\%$, s/p	
ВД	$\geq 0,3\%$, s/p	
РСВИ	$\geq 1:4$, титр / $2 \log_2$	

Установлено, что в группах 1 и 3 появление антител к РСВИ было зафиксировано на 14-е сутки, в группе 2 — на 21-е сутки, а в группах 4, 5 и 6 — уже на 7-е сутки. К 21-м суткам наблюдения во всех экспериментальных группах был достигнут положительный порог титров антител. Анализ динамики нарастания титров показал, что в группах 1–4 защитный уровень антител, составляющий $3 \log_2$, был достигнут к 35 суткам наблюдения. В то же время в группах 5 и 6 аналогичный уровень иммунного ответа был зафиксирован значительно раньше — уже на 21-е сутки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что способ введения и доза, использованные в группах 5 и 6, обеспечивают более быструю и активную стимуляцию выработки специфических антител. В сыворотке крови животных контрольной группы на протяжении всего срока наблюдения специфические антитела не выявлялись.

Установлено, что в группах 1 и 2 появление антител к ПГ-3 было зафиксировано на 14-е сутки, в группе 3–6 — на 7-е сутки. Анализ динамики нарастания антител показал, что в группах 3–6 защитный уровень в 40% был достигнут на 21 сутки наблюдения. В то же время в группах 1 и 2 аналогичный уровень иммунного ответа был зафиксирован значительно позже, на 35-е сутки. Способ введения и доза, использованные в группах 5 и 6, обеспечивают более быструю и активную стимуляцию выработки специфических антител. В сыворотке крови животных контрольной группы на протяжении всего срока наблюдения специфические антитела не выявлялись.

Рис. 1. Уровень специфических антител к вирусу РСВИ в сыворотке крови КРС после иммунизации вакциной «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ»

Fig. 1. BRSV antibody levels in bovine sera after vaccination with ARRIAH-BoviRes-BRSV

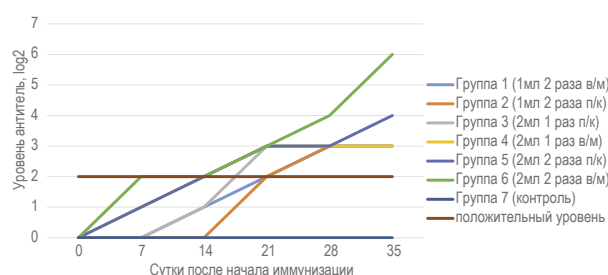


Рис. 2. Уровень специфических антител к вирусу ПГ-3 в сыворотке крови КРС после иммунизации вакциной «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ»

Fig. 2. BPIV-3 antibody levels in bovine sera after vaccination with ARRIAH-BoviRes-BRSV

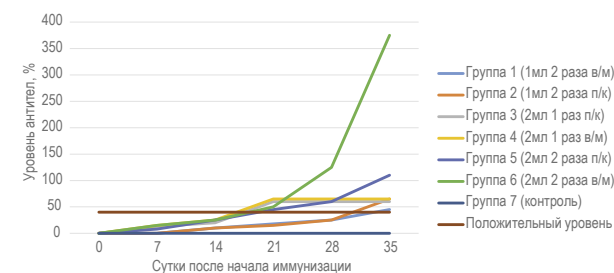


Рис. 3. Уровень специфических антител к вирусу ИРТ в сыворотке крови КРС после иммунизации вакциной «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ»

Fig. 3. IBRV antibody levels in bovine sera after vaccination with ARRIAH-BoviRes-BRSV

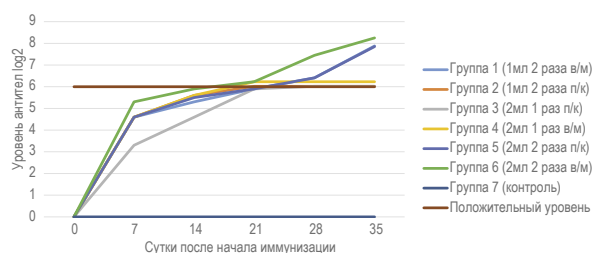
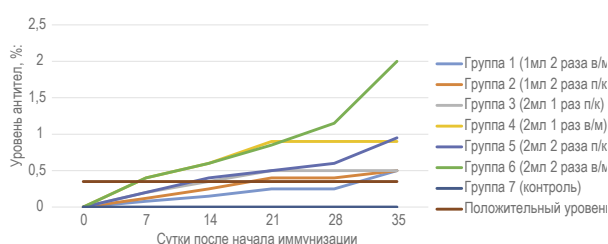


Рис. 4. Уровень специфических антител к вирусу ВД в сыворотке крови КРС после иммунизации вакциной «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ»

Fig. 4. BVDV antibody levels in bovine sera after vaccination with ARRIAH-BoviRes-BRSV



Установлено, что сероконверсия к вирусу ИРТ во всех опытных группах наступала на 7-е сутки после вакцинации. Анализ динамики титров антител показал их стабильный рост во всех группах. При этом, на основании вычисления коэффициента Лапласа, к 28-м суткам в группах 5 и 6 наблюдалось достоверно более высокое нарастание иммунного ответа по сравнению с группами 1–4, что свидетельствует о большей эффективности примененных в них схем вакцинации. В контрольной группе специфические антитела на протяжении всего срока наблюдения не выявлялись.

В ходе исследования иммунного ответа к вирусу ВД было установлено, что появление специфических антител во всех опытных группах фиксировалось на 7-е сутки после введения препарата. Анализ динамики нарастания титров продемонстрировал стабильный рост уровня антител во всех группах. Тем не менее сравнительный анализ с помощью коэффициента Лапласа выявил существенные различия в эффективности схем иммунизации. Так, уже к 28-м суткам в группах 4–6 отмечался более высокий уровень иммунного ответа по сравнению с группами 1–3. Конечные результаты, полученные на 35-е сутки, подтвердили эту тенденцию: максимальные титры антител были зафиксированы в группе 6, что значительно превышало итоговые значения в группах 1–5. Это доказывает, что схема вакцинации, примененная в данной группе, является наиболее эффективной. В сыворотке крови животных контрольной группы на протяжении всего срока наблюдения специфические антитела не выявлялись.

Полученные результаты исследований показали, что вакцина «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ»

обладает антигенной активностью для КРС: препарат индуцирует специфические антитела к возбудителям ПГ-3, ИРТ, ВД и РСВИ, уровень которых достигает необходимого значения через 35 суток. Наилучшие результаты были получены при двукратной иммунизации с интервалом 21 сутки при внутримышечном введении 2,0 мл разработанной вакцины.

Таким образом, в качестве иммунизирующей дозы вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» было установлено двукратное внутримышечное введение препарата в объеме 2,0 мл.

Результаты опыта №2. Ввиду неконтролируемых условий проведения опыта на территории хозяйства и использовании телят, получивших молозиво, серологические исследования проб сыворотки крови, отобранных до вакцинации, показали наличие антител ко всем искомым возбудителям у части животных. При этом средний уровень антител к вирусам ПГ-3 КРС и РСВИ составлял 2,0 log₂, среднее значение s/p к вирусам ИРТ и ВД КРС составляло 40% (рис. 5 и 6).

Результаты ПЦР-исследований отобранных до вакцинации носовых смывов показали, что ни в одной из отобранных в ходе опыта пробе не было выявлено наличие геномов возбудителей инфекций, входящих в состав вакцинного препарата. Таким образом, наличие антител в сыворотке крови использованных животных до вакцинации может быть связано с выпойкой молозива от серопозитивных коров.

Рис. 5. Динамика формирования гуморального иммунитета у телят к ПГ-3 и РСВИ

Fig. 5. Kinetics of the humoral immune response to BPIV-3 and BRSV in calves

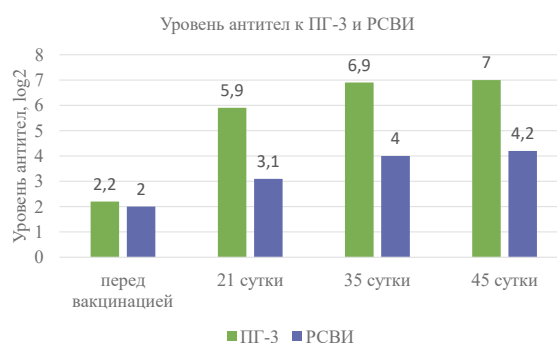
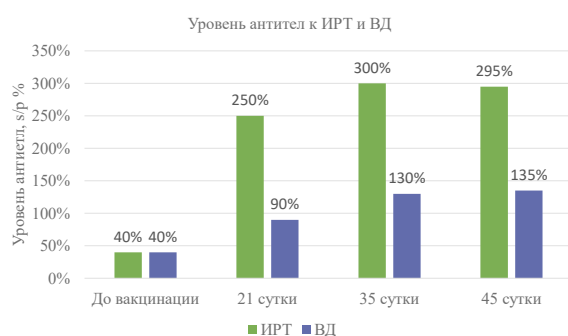


Рис. 6. Динамика формирования гуморального иммунитета у телят к ИРТ и ВД

Fig. 6. Kinetics of the humoral immune response to IBRV and BVDV in calves



Как и в опыте №1, иммунизация установленной дозой препарата индуцировала образование значительного количества искомых антител уже через 21 сутки. Однако их наибольший уровень выявили через 35 суток, который был стабилен вплоть до 45 суток после начала иммунизации (срок наблюдения).

Так, на 21 сутки после первичной иммунизации антитела к вирусу ПГ-3 были на уровне $5,9 \log_2$, к вирусу РСВИ КРС — $3,1 \log_2$, среднее значение s/p антител к вирусу ИРТ КРС составляло 250%, к вирусу ВД КРС — 90%.

На 35 сутки (14 сутки после второго введения препарата) средний уровень антител составлял: к ПГ-3 — $6,9 \log_2$, к вирусу РСВИ КРС — $4,0 \log_2$, к вирусу ИРТ КРС — 300%, к вирусу ВД КРС — 130%. На 45 сутки опыта средний уровень антител составлял: к ПГ-3 — $7,0 \log_2$, к вирусу РСВИ КРС — $4,2 \log_2$, к вирусу ИРТ КРС — 295%, к вирусу ВД КРС — 135%. Это говорит о качественной антигенной активности вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ», что, в свою очередь, подтверждает ее эффективность в качестве средства специфической профилактики респираторных заболеваний КРС.

Эффективность препарата, установленная в опыте №1, подтверждена в неконтролируемых условиях животноводческого хозяйства. Наличие в сыворотке крови животных специфических антител до начала иммунизации не влияет на антигенную активность вакцины.

Выводы/Conclusion

В ходе проведенных опытов была подтверждена безопасность для КРС вакцины ассоциированной против инфекционного ринотрахеита, парагриппа 3, вирусной диареи и респираторно-синцитиальной вирусной инфекции крупного рогатого скота инактивированной эмульсионной («ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ»), а также ее высокая антигенная активность. Применение указанного препарата в различных дозировках и с помощью разных методов и кратностей введения не вызвало негативных физиологических реакций и приводило к формированию антительного ответа у всех иммунизированных животных.

На основании серологических исследований в качестве иммунизирующей дозы препарата было установлено двукратное с интервалом 21 сутки внутримышечное введение 2,0 мл вакцины. При этом выявлено, что гуморальный иммунитет формируется не позднее 35 суток после начала вакцинации.

Результаты, полученные в лабораторных контролируемых условиях (виварный комплекс ФГБУ «ВНИИЗЖ»), были подтверждены применением вакцины «ВНИИЗЖ-БовиРес-РСВИ» в неконтролируемых условиях животноводческого хозяйства. Применение испытуемого препарата в рекомендуемой иммунизирующей дозе не вызывает негативных реакций и формирует гуморальный иммунитет против заболеваний КРС вирусной этиологии: ПГ-3, РСВИ, ВД и ИРТ КРС.

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. Алексеев А.Д., Петрова О.Г. Респираторно-синцитиальная инфекция крупного рогатого скота (обзор иностранной литературы). *Аграрный вестник Урала*. 2014; (5): 22–26. EDN SGNYSF
2. Мищенко В.А., Мищенко В.А., Черных О.Ю. Проблема респираторной патологии новорожденных телят. *Ветеринария Кубани*. 2013; (6): 19–20. EDN RXMCNH
3. Мищенко В.А., Думова В.В., Черных О.Ю. Особенности массовых ассоциированных респираторных заболеваний взрослого КРС. *Ветеринария Кубани*. 2011; (3): 13–15. EDN NUCFGN
4. Белосова Д.А., Клепова Ю.В., Порываева А.П., Печура Е.В., Нурмиева В.Р. Вакцинопрофилактика респираторных вирусных заболеваний крупного рогатого скота (обзор). *БИО*. 2021; (7): 10–15. EDN WNTQCU
5. Петров Д.А. Анализ эпизоотической ситуации по отдельным острым респираторно-кишечным инфекциям крупного рогатого скота на территории Удмуртской Республики. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2025; (9): 106–112. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202509111>
6. Строганова И.Я. Распространение парагриппа-3 крупного рогатого скота в животноводческих хозяйствах Восточной Сибири. *Вестник КрасноярГМУ*. 2011; (6): 115–117. EDN NUSZMB
7. Красочко П.А., Понаськов М.А., Красочко П.П. Этиологическая структура вирусов – возбудителей пневмоэнтеритов телят в хозяйствах Республики Беларусь. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2023; (1): 38–41. EDN TWBWWU
8. Петрова О.Г., Барашкин М.И. Острые респираторные заболевания крупного рогатого скота и проблемы профилактики на региональном уровне. *Аграрный Вестник Урала*. 2014; (6): 40–42. EDN SGVOYV
9. Петрова О.Г., Барашкин М.И., Алексеев А.Д., Мильштейн И.М. Особенности эпизоотического процесса инфекционного ринотрахеита крупного рогатого скота на региональном уровне. *Аграрный вестник Урала*. 2019; (6): 39–43. https://doi.org/10.32417/article_5d50464cb5fb10.31871591
10. Михайлова В.В., Лобова Т.П., Шишкина М.С., Скворцова А.Н. Анализ результатов эпизоотического мониторинга вирусной диареи — болезни слизистых крупного рогатого скота в Российской Федерации по данным отчетности 4-вет за 2020 год. *Аграрная наука*. 2021; (11–12): 36–39. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-36-39>
11. Хафизова А.М. и др. Вирусная диарея — болезнь слизистых крупного рогатого скота: анализ эпизоотической ситуации и противоэпизоотических мероприятий. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2024; 258: 214–221. EDN DBWGNW

REFERENCES

1. Alekseyev A.D., Petrova O.G. A respiratory-syncytial infection of cattle (review of foreign literature). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (5): 22–26 (in Russian). EDN SGNYSF
2. Mishchenko V.A., Mishchenko A.V., Chernykh O.Yu. Problem of respiratory pathology of newborn calves. *Veterinaria Kubani*. 2013; (6): 19–20 (in Russian). EDN RXMCNH
3. Mishchenko V.A., Dumova V.V., Chernykh O.Yu. Peculiarities of mass associated respiratory diseases of adult cattle. *Veterinaria Kubani*. 2011; (3): 13–15 (in Russian). EDN NUCFGN
4. Belousova D.A., Klepova Yu.V., Poryvayeva A.P., Pechura Ye.V., Nurmiyeva V.R. Vaccination for prevention of respiratory viral diseases in cattle (review). *BIO*. 2021; (7): 10–15 (in Russian). EDN WNTQCU
5. Petrov D.A. Analysis of the epizootic situation of individual acute respiratory and intestinal infections of cattle in the territory of the Udmurt Republic. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2025; (9): 106–112 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202509111>
6. Stroganova I.A. Cattle parainfluenza-3 distribution on the Eastern Siberia cattle-breeding farms. *Bulletin of KSAU*. 2011; (6): 115–117 (in Russian). EDN NUSZMB
7. Krasochko P.A., Ponaskov M.A., Krasochko P.P. Etiological structure of viruses-pathogens of pneumoenteritis of calves in farms of the Republic of Belarus. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2023; (1): 38–41 (in Russian). EDN TWBWWU
8. Petrova O.G., Barashkin M.I. Acute respiratory disease of cattle and prevention at the regional level. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (6): 40–42 (in Russian). EDN SGVOYV
9. Petrova O.G., Barashkin M.I., Alekseyev A.D., Millstein I.M. Features of epidemic process of infectious rhinotracheitis in cattle at the regional level. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; (6): 39–43 (in Russian). https://doi.org/10.32417/article_5d50464cb5fb10.31871591
10. Mikhailova V.V., Lobova T.P., Shishkina M.S., Skvortsova A.N. Analysis of the results of epizootic monitoring of viral diarrhea — a disease of mucous membranes in cattle in the Russian Federation according to the reporting of 4-vet for 2020. *Agrarian science*. 2021; (11–12): 36–39 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-36-39>
11. Khafizova A.M. et al. Bovine viral diarrhea - mucosal disease: analysis of the epizootic situation and antiepidemic measures. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2024; 258: 214–221 (in Russian). EDN DBWGNW

12. Галиуллин А.К. и др. Молекулярно-генетический анализ геномов вируса парагриппа-3 крупного рогатого скота. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2023; 255: 92–99. EDN VDCVPY
13. Sudaryatma P.E. et al. Bovine respiratory syncytial virus infection enhances *Pasteurella multocida* adherence on respiratory epithelial cells. *Veterinary Microbiology*. 2018; 220: 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.04.031>
14. Красочко П.П., Колесников К.В. Респираторно-синцитиальная инфекция крупного рогатого скота (обзор). *Эпизоотология Иммунология Фармакология Санитария*. 2023; (1): 15–19. EDN SKJYW
15. Строганова И.Я., Войтова К.В. Методы обнаружения и идентификации респираторно-синцитиального вируса крупного рогатого скота в культуре клеток. *Вестник КрасГАУ*. 2011; (3): 128–133. EDN NWWQLL
16. Sarmiento-Silva R.E., Nakamura-Lopez Y., Vaughan G. Epidemiology, Molecular Epidemiology and Evolution of Bovine Respiratory Syncytial Virus. *Viruses*. 2012; 4(12): 3452–3467. <https://doi.org/10.3390/v4123452>
17. Бубякин Р.И., Кононова С.В., Бядовская О.П., Бирюченков Д.А., Кононов А.В. Вирусная диарея крупного рогатого скота: распространение, характеристика, профилактика, диагностика и меры борьбы с заболеванием. *Труды Федерального центра охраны здоровья животных*. 2022; 18: 99–121. https://doi.org/10.29326/9785907612136_2022_18_99
18. Chamorro M.F., Palomares R.A. Bovine Respiratory Disease Vaccination Against Viral Pathogens: Modified-Live Versus Inactivated Antigen Vaccines, Intranasal Versus Parenteral, What Is the Evidence?. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2020; 36(2): 461–472. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.006>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Алексеевич Андреев

аспирант
andreev_sa@arriah.ru

Федеральный центр охраны здоровья животных
(ФГБУ «ВНИИЗЖ»),
Гвардейская ул., д. 6, мкрн. Юрьевец, Владимир, 600901,
Россия,

12. Galiullin A.K. et al. Molecular genetic analysis of genomes of bovine parainfluenza-3 virus. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2023; 255: 92–99 (in Russian). EDN VDCVPY

13. Sudaryatma P.E. et al. Bovine respiratory syncytial virus infection enhances *Pasteurella multocida* adherence on respiratory epithelial cells. *Veterinary Microbiology*. 2018; 220: 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.04.031>
14. Krasochko P.P., Kolesnikov K.V. Respiratory syncytial infection in cattle (review). *Epizootology Immunobiology Pharmacology Sanitation*. 2023; (1): 15–19 (in Russian). EDN SKJYW
15. Stroganova I.Ya., Voitova K.V. The techniques for revealing and identification of the respiratory and syncytial virus of cattle in cell culture. *Bulletin of KSAU*. 2011; (3): 128–133 (in Russian). EDN NWWQLL
16. Sarmiento-Silva R.E., Nakamura-Lopez Y., Vaughan G. Epidemiology, Molecular Epidemiology and Evolution of Bovine Respiratory Syncytial Virus. *Viruses*. 2012; 4(12): 3452–3467. <https://doi.org/10.3390/v4123452>
17. Bubyakin R.I., Kononova S.V., Byadovskaya O.P., Biryuchenkov D.A., Kononov A.V. Bovine viral diarrhea: spread, features, prevention, diagnosis and control. *Proceeding of the Federal Centre for Animal Health*. 2022; 18: 99–121 (in Russian). https://doi.org/10.29326/9785907612136_2022_18_99
18. Chamorro M.F., Palomares R.A. Bovine Respiratory Disease Vaccination Against Viral Pathogens: Modified-Live Versus Inactivated Antigen Vaccines, Intranasal Versus Parenteral, What Is the Evidence?. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2020; 36(2): 461–472. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.006>

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Alekseevich Andreev

postgraduate student
andreev_sa@arriah.ru

Federal Centre for Animal Health (FGBI «ARRIAH»),
6 Gvardeiskaya st., Yuryevets microdistrict, Vladimir, Russia,
600901.

Н.В. Явников¹ ✉Н.А. Капай²А.Л. Москвина¹¹ Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия² ООО «АлексАнн», Долгопрудный, Московская обл., Россия

✉ virus0401@mail.ru

Поступила в редакцию: 16.07.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Явников Н.В., Капай Н.А., Москвина А.Л.

Изучение переносимости ветеринарного препарата «ГастроПро» на кошках

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Заболевания желудочно-кишечного тракта широко распространены у кошек. Одним из перспективных гастропротекторов является сукральфат, однако данных о его переносимости у кошек при длительном применении недостаточно.

Цель работы — экспериментально оценить безопасность и переносимость ветеринарного препарата «ГастроПро» (сукральфат, 10%, ООО «АлексАнн», Россия) при длительном пероральном введении клинически здоровым кошкам в максимальной терапевтической и трехкратно завышенной дозах.

Методы. В исследование включено 18 клинически здоровых беспородных кошек (1–5 лет), распределенных по принципу аналогов на 3 группы (n = 6): контрольную и две опытные. Препарат применяли перорально 42 дня в суточной дозе 7,5 мл (1-я группа) или 22,5 мл (2-я группа) в соответствии с инструкцией производителя (фиксированная доза без учета массы тела). Проводили контроль общего состояния, гематологических, биохимических и урологических показателей.

Результаты. Признаков интоксикации не выявлено. У отдельных животных зарегистрированы кратковременная гиперсаливация и эпизоды рвоты (вероятность 0,09–0,40% в сутки), не сопровождавшиеся отклонениями в общем состоянии и лабораторных показателях. После 6-недельного введения трехкратной дозы отмечена тенденция к снижению фосфора крови в пределах физиологической нормы (на 16,7%, $p > 0,05$).

Выводы. Полученные данные свидетельствуют о хорошей переносимости препарата «ГастроПро» клинически здоровыми кошками при длительном применении в терапевтической и повышенной дозах. Ограничения: малый размер выборки, что осложняет точную экстраполяцию частоты проявления потенциальных нежелательных явлений в генеральной совокупности. Дальнейшая оценка безопасности будет осуществляться в рамках следующих исследований и фармаконадзора.

Ключевые слова: мелкие домашние животные, кошки, патология, желудочно-кишечный тракт, гастрит, гастропротекторы, сукральфат

Для цитирования: Явников Н.В., Капай Н.А., Москвина А.Л. Изучение переносимости ветеринарного препарата «ГастроПро» на кошках. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 16–24. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-16-24>

Nazar V. Yavnikov¹ ✉Nadezhda A. Kapay²Anna L. Moskvina¹¹ Penza State Agrarian University, Penza, Russia² «AleksAnn» LLC, Dolgoprudny, Moscow region, Russia

✉ virus0401@mail.ru

Received by the editorial office: 16.07.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Yavnikov N.V., Kapay N.A., Moskvina A.L.

Study of the tolerability of the veterinary drug «GastroPro» on cats

ABSTRACT

Relevance. Gastrointestinal diseases are widespread in cats. Sucralfate is a promising gastroprotective agent, but data on its tolerability in cats with prolonged use are limited.

The aim of the study was to experimentally evaluate the safety and tolerability of the veterinary drug «GastroPro» (sucralfate, 10%, AleksAnn LLC, Russia) with prolonged oral administration to clinically healthy cats at the maximum therapeutic and three-fold increased doses.

Methods. The study included 18 clinically healthy outbred cats (1–5 years), divided into 3 groups (n = 6) by the analogue principle: a control group and two experimental groups. The drug was administered orally for 42 days at a daily dose of 7.5 ml (group 1) or 22.5 ml (group 2) according to the manufacturer's instructions (fixed dose regardless of body weight). General condition, hematological, biochemical and urinalysis parameters were monitored.

Results. No signs of intoxication were observed. In some animals, short-term hypersalivation and episodes of vomiting were recorded (probability 0.09–0.40% per day), not accompanied by changes in general condition or laboratory parameters. After 6-week administration of the three-fold dose, a trend towards a decrease in blood phosphorus within the physiological norm was noted (by 16.7%, $p > 0.05$).

Conclusions. The data obtained indicate good tolerance of the drug «GastroPro» in clinically healthy cats with long-term use at therapeutic and higher doses. Limitations: the small sample size makes it difficult to accurately extrapolate the frequency of potential adverse events in the general population. Further safety assessment will be carried out as part of the following studies and pharmacovigilance.

Key words: small companion animals, cats, pathology, gastrointestinal tract, gastritis, gastroprotective agents, sucralfate

For citation: Yavnikov N.V., Kapay N.A., Moskvina A.L. Study of the tolerability of the veterinary drug «GastroPro» on cats. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 16–24 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-16-24>

Введение/Introduction

Заболевания желудочно-кишечного тракта — широко распространенная патология у кошек¹. Основными причинами их возникновения являются потребление недоброкачественных кормов, побочное действие лекарственных препаратов, главным образом НПВС, воздействие патогенных микроорганизмов и эндопаразитов [1–9]. В распространение заболеваний ЖКТ также играет свою роль улучшение ухода и ветеринарного обслуживания: значительно увеличилась средняя продолжительность жизни домашних кошек, а возрастные животные более восприимчивы к патологии органов пищеварения [10, 11].

Для лечения заболеваний ЖКТ у кошек используют широкий спектр ветеринарных препаратов различных групп, в частности противомикробные, противопаразитарные, про- и пребиотики, энтеросорбенты, противорвотные² [12–15]. Но при воспалительных процессах в пищеварительном канале всегда происходит повреждение слизистой оболочки. Поэтому перспективным направлением является разработка препаратов, защищающих слизистую оболочку ЖКТ и ускоряющих ее регенерацию — гастропротекторов [16–22]. Одним из распространенных в медицине и ветеринарии гастропротекторов является сульфат (алюминиевая соль сульфатированной сахарозы), на данный момент в России зарегистрировано два ветеринарных препарата с действующим веществом сульфат — «Вентровитал» (25%) и «ГастроПро» — (10%)^{3, 4}. Данные исследований свидетельствуют о способности этой субстанции образовывать прочный защитный комплекс с белками экссудата, формируя барьер, устойчивый к воздействию желудочного сока и солей желчных кислот, обеспечивая локальную защиту и стимулируя регенерацию поврежденных участков слизистой оболочки желудка и кишечника [23–27].

Известно, что алюминий образует нерастворимые комплексы с фосфором, благодаря чему некоторые алюминий-содержащие препараты используются в ветеринарии как фосфатбиндеры. При этом наиболее удобными становятся препараты в жидких лекарственных формах, что позволяет обеспечить удобное дозирование и

равномерное распределение активных компонентов по слизистой желудка.

Цель работы — экспериментально доказать безопасность и переносимость ветеринарного препарата «ГастроПро» (сукральфат, 10%), производства ООО «АлексАнн», (Россия) при длительном пероральном введении клинически здоровым кошкам в максимальной терапевтической и трехкратно завышенной дозах на основе анализа клинического состояния, гематологических, биохимических и урологических показателей.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование препарата «ГастроПро» выполнены в 2025 году на базе приюта для животных Пензенского благотворительного фонда «Рука помощи бездомным животным». Схема эксперимента разрабатывалась в соответствии с Приказом МСХ №101⁵ и руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств под редакцией А.Н. Миронова⁶, уход за животными и все манипуляции с ними проводились в соответствии с ГОСТ 33215-2014⁷ и законом N 498-ФЗ⁸.

В исследование включено 18 беспородных кошек (самцы и самки) в возрасте 1–5 лет с массой тела 2,0–4,9 кг. На момент включения в исследование все кошки были предварительно вакцинированы и дегельминтизированы, согласно анамнезу не имели хронических заболеваний, требующих лекарственной терапии, в течение 30 дней до начала исследования не получали никаких лекарственных препаратов.

Было сформировано три группы животных по 6 особей в каждой (табл. 1).

Формирование групп по 6 животных обусловлено этическими нормами гуманного обращения с экспериментальными животными (принцип «трех R»), согласно которым для пилотной оценки переносимости используется минимальное количество особей, достаточное для выявления грубых токсических эффектов. Исследование носило характер пилотного, exploratory-анализа, направленного на первичную оценку безопасности ветеринарного препарата.

¹ Распространенность симптомов хронических патологий желудочно-кишечного тракта у кошек <https://vetacademia.royalcanin.ru/articles/rasprostranennost-simptomov-khronicheskikh-patologiy-zheludochno-kishechnogo-trakta-u-koshek/> (дата обращения 08.08.2026)

² Калашникова О. В. Хроническая рвота у собак и кошек. Причины, диагностика, лечение. Журнал Ветеринарный Петербург: 2(2020) <https://spbveter.info/zhurnaly/2-2020/khronicheskaya-rvota-u-sobak-i-koshek-prichiny-diagnostika-lechenie/> (дата обращения 08.08.2026)

³ Patel P, John S. Sucralfate. [Updated 2024 Feb 28]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551527/> (дата обращения 08.08.2026)

⁴ Государственный реестр лекарственных средств для ветеринарного применения <https://galen.vetr.ru/#/registry/pharm/registry/622f6dd3-eda1-4e62-ad36-530a9d7f509b> (дата обращения 08.08.2026)

⁵ Приказ Минсельхоза от 6 марта 2018 г. N 101 «Об утверждении правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения» <https://fsvps.gov.ru/files/prikaz-minselhoza-ot-6-marta-2018-g-n-101-ob-ut/> (дата обращения 08.08.2026)

⁶ Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая / Под ред. А.Н. Миронова. — М.: Гриф и К, 2012. — 944 с

⁷ ГОСТ 33215-2014 Межгосударственный стандарт руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными Правила оборудования помещений и организации процедур <https://docs.cntd.ru/document/1200127789> (дата обращения 08.08.2026)

⁸ Федеральный закон "Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 27.12.2018 N 498-ФЗ https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314646/ (дата обращения 08.08.2026)

Таблица 1. Схема опыта по переносимости ветеринарного препарата «ГастроПро»

Table 1. Design of a study on the tolerability of the veterinary drug «GastroPro»

Группа	Препарат	Суточная доза, мл/ животное	Курс применения	Постнаблюдение (период отмены)
1-я опытная, (n = 6)	«ГастроПро»	7,5 мл	42 дня	14 дней
2-я опытная, (n = 6)	«ГастроПро»	22,5 мл	42 дня	14 дней
Контрольная, (n = 6)	–	–	–	14 дней
Показатель		Сроки		
Общее состояние, основные физиологические показатели*		Ежедневно; В первый день — через 30 минут, 1, 3, 6 и 12 часов после первого введения препарата «ГастроПро»		
Общеклинические показатели крови**		До, на 21, 43, 56 дни исследования		
Биохимические показатели крови**		До, на 21, 43, 56 дни исследования		
Показатели общего анализа мочи		За 1-2 дня до формирования групп и далее на 43, 56 дни исследования		
Масса тела		До, на 21, 43 и 56 день исследования		
Местно-раздражающее действие***		Через 20-30 минут после первого перорального введения препарата «ГастроПро» и далее регулярно, 1-2 раза в неделю		
Нежелательные реакции		Ежедневно		

Примечание: *Оценивали активность, аппетит, цвет видимых слизистых оболочек, температуру тела, частоту актов мочеиспускания и дефекации, характер каловых масс в т.ч. ЧСС, ЧД, температура тела. **В первый день исследования — до введения препарата «ГастроПро» в опытных группах, в контрольной группе — в аналогичные сроки. ***Осматривали ротовую полость животных и оценивали состояние слизистой оболочки (наличие гиперемии, отека, эрозии, язв и т.д.)

При формировании групп применялся принцип аналогов с учетом возраста, пола и массы тела, что обеспечило сопоставимость групп по основным физиологическим параметрам.

Для минимизации субъективности при оценке лабораторных показателей использовались автоматические анализаторы. Клинический осмотр всех животных проводил один и тот же ветеринарный врач по стандартизированной схеме.

Дозирование препарата осуществляли в соответствии с инструкцией организации-производителя: максимальная разовая доза на кошку (вне зависимости от массы тела) — 2,5 мл, максимальная кратность применения в сутки — 3 раза. Это необходимо учитывать при интерпретации дозозависимых эффектов.

Первая опытная группа получала лекарственный препарат для ветеринарного применения «ГастроПро» в максимальной терапевтической дозе, вторая — в трехкратной максимальной терапевтической дозе (табл. 1). Продолжительность применения в три раза превосходит продолжительность курса, предусмотренного инструкцией.

Ветеринарный препарат «ГастроПро» применяли ежедневно, перорально, натошак, за 60 минут до кормления животных. Для первой опытной группы суточную дозу делили на 2 приема, для второй опытной группы суточную дозу делили на 2–3 приема.

Дозирование препарата осуществляли в соответствии с инструкцией производителя, которая

предусматривает фиксированную разовую дозу для кошек (2,5 мл). Препарат оказывает только местный эффект и не обладает системным действием, соответственно, система дозирования на ед. массы тела (кг массы тела) не целесообразна.

Кормление осуществляли сухим полнорационным кормом для стерилизованных кошек в возрасте от 1 года до 7 лет STERILISED 37 (ROYAL CANIN®, Россия), 2 раза в сутки в соответствии с рекомендациями производителя. Поение осуществлялось из автопоилок без ограничений. Условия содержания и кормления для всех групп были идентичными.

Термометрию проводили с использованием медицинского цифрового термометра AMDT10 (Amrus Enterprises Ltd, USA). Для взвешивания животных использовали весы «Massa-K® TB-5040N_3» (Россия).

Взятие крови производили из поверхностной вены предплечья. Для проведения общего клинического анализа крови использовали автоматический гематологический анализатор с дифференциацией лейкоцитов на 5 популяций Hemascreen vet 5diff

(Италия). Биохимические показатели проб крови определяли анализатором EOS BRAVO v.300 (Италия), применяя наборы реагентов Hospitex Diagnostics (Италия). Пробоподготовку образцов крови проводили при помощи центрифуги «Armed», LC-04A (Китай).

Лабораторные исследования проб мочи проводили при помощи следующего оборудования: рефрактометр АТС (Китай); анализатор белка и креатинина в моче URISCREEN-БК (Россия); MICROSCREEN общепрофессиональный лабораторный микроскоп Hospitex Diagnostics (Италия); URISCREEN v.003 анализатор мочи на 10 параметров, Hospitex Diagnostics, (Италия); полоски для анализатора УРИСКРИН (URISCREEN), Hospitex Diagnostics, (Италия).

Гистологическое исследование слизистой оболочки желудка в рамках настоящей работы не проводилось, поскольку исследование было посвящено оценке переносимости и безопасности препарата, а не его гастропротекторной эффективности. Проведение биопсии у клинически здоровых кошек не оправдано с этической точки зрения и не соответствует принципу минимизации инвазивных процедур (3R). Оценка состояния слизистой оболочки ограничена клиническим осмотром ротовой полости и анализом лабораторных показателей.

Статистическую обработку полученных результатов проводили стандартными методами, с учетом малочисленности групп использовали

методы непараметрической статистики (критерий Краскела-Уолиса, критерий Манна-Уитни, критерий Вилкоксона).

Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Выборка включала 18 клинически здоровых животных, по 6 особей в каждой группе, что может оцениваться как малая выборка. Исследования переносимости на целевых видах животных допускается проводить на малых выборках в соответствии с принципами гуманного обращения с животными (Хельсинкской декларации). Возможные ограничения использования малых выборок — смещение величины эффекта, или трудность экстраполяции частоты проявления нежелательных явлений на генеральную совокупность; пропуск редких токсических эффектов, недостаточная мощность исследования. Дизайн исследования, а именно многократное превышение терапевтической дозы и продолжительности применения препарата согласно инструкции организации-производителя (6 недель вместо 2-х) повышает вероятность проявления потенциальных нежелательных / побочных эффектов, что частично компенсирует ряд ограничений и позволяет на минимальном количестве целевых животных получить сведения о возможных токсических/нежелательных явлениях как в период применения препарата, так и в последующий 2-х недельный период наблюдений.

К ограничениям можно было бы отнести отсутствие ослепления, но выполнить его на клиническом этапе было невозможно ввиду очевидных различий в схеме дозирования препарата. Для минимизации субъективности клинический статус животных оценивался ветеринарными специалистами коллегиально по четким критериям. Применение принципа аналогов является классическим, доказательным подходом в проведении доклинических исследований, обеспечивающим однородность выборки. Клинически здоровые животные, соответствующие критериям включения, были случайно распределены по контрольной и опытной группам.

Полученные данные характеризуют только клиническую и лабораторную переносимость. Оценка гастропротекторного действия рассматривается в рамках клинических испытаний, в задачи данного исследования она не включена.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Следует отметить, что из-за фиксированной дозы препарата на животное нагрузка на кг массы тела различалась в 2,45 раза. Наиболее высокая доза на кг массы тела приходилась на самых легких кошек (2,0 кг), что могло вносить вклад в наблюдаемые эпизоды рвоты и тенденцию к снижению фосфора крови, особенно во 2-й опытной группе.

Общее состояние животных, основные физиологические показатели. Результаты оценки состояния

животных в первый день применения препарата «ГастроПро» не выявили нежелательного влияния данного препарата на их общее состояние. В течение 3-часов после введения препарата «ГастроПро» общее состояние кошек в опытных группах существенно не изменилось, животные сохраняли нормальный (привычный) уровень активности.

Далее в течение всего периода курсового применения препарата «ГастроПро» и последующий двухнедельный период наблюдений кошки были активны, имели хороший аппетит, движения скоординированы, без признаков нарушения локомоции, видимые слизистые оболочки бледно-розового цвета, состояние шерстного покрова без изменений, акты дефекации и мочеиспускания регулярные. Основные физиологические показатели животных находились в границах физиологической нормы.

Нежелательные явления. В течение 56-дневного периода наблюдений были отмечены однократные или периодические эпизоды рвоты и гиперсаливации: в 1-й группе — у трех особей (у двух животных по 3–4 эпизода рвоты, вероятность возникновения за 42-дневный курс 0,09% в сутки, у одной особи — 1 эпизод гиперсаливации), во 2-й опытной группе — у пяти особей (у двух особей — по 2 и 4 эпизода гиперсаливации, у трех особей — по 4–8 эпизодов рвоты).

Начало гиперсаливации отмечали спустя 3–5 минут после введения препарата «ГастроПро», она спонтанно прекращалась спустя 10–15 минут. Рвота происходила спустя 1–3 часа после приема препарата «ГастроПро». В рвотных массах присутствовали частично переваренный корм, примесей слизи и крови не было. Других патологических симптомов у данных кошек не было, кошки были активны, аппетит сохранен. Специфических противорвотных препаратов не применяли. По результатам внепланового общеклинического и биохимического исследования крови отклонений от физиологической нормы не выявлено.

Несмотря на отсутствие нежелательных отклонений по результатам общего клинического и биохимического анализа крови, было принято решение об отмене препарата «ГастроПро» двум кошкам 2-й опытной группы с повторяющимися эпизодами рвоты в течение последних 5-ти дней. Препарат был отменен на 13-й и 18-й день исследования. После отмены препарата рвоты больше не наблюдали.

Кратковременная гиперсаливация у кошек является частой рефлекторной реакцией на пероральное введение лекарственных препаратов, обеспечивающих «смытие» непищевых ингредиентов со слизистой ротовой полости. Согласно материалам Всемирной ассоциации мелких домашних животных (WSAVA), подобная реакция обычно является временной и не опасной [29]. Эпизоды периодических рвотных позывов могут являться проявлением тошноты. Согласно данным

литературы, применение сукральфата может сопровождаться тошнотой⁹.

Во всех экспериментальных группах средние значения массы тела особей оставались стабильными на протяжении всего периода наблюдения, отрицательной динамики живой массы у кошек не наблюдалось (Таблица 2).

Результаты общеклинического и биохимического анализов крови, представлены в таблицах 3–4.

На момент включения в исследование у кошек основные показатели общего и биохимического анализа крови находились в пределах физиологической нормы, отклонения отдельных показателей от референтных значений были клинически незначимыми, что может быть связано с индивидуальными особенностями животных в условиях вольерного содержания.

Таблица 2. Динамика массы тела кошек разных групп, кг (Mean ± SD)

Table 2. Dynamics of body weight of cats of different groups, kg (Mean ± SD)

Период наблюдений		1-я опытная группа n = 6	2-я опытная группа n = 6	Контрольная группа n = 6
Курсовое введение препарата «ГастроПро» в опытных группах	Д1(до)	3,5±0,4	3,1±0,6	3,4±1,1
	Д21	3,5±0,3	3,1±0,6	3,4±1,1
	Д43	3,5±0,3	3,1±0,6	3,5±1,1
	Д56	3,5±0,3	3,1±0,7	3,5±1,1

Таблица 3. Динамика изменения общеклинических показателей крови кошек после многократного введения препарата «ГастроПро», Mean ± SD

Table 3. Dynamics of changes in general clinical blood parameters of cats after repeated administration of the drug "GastroPro", Mean ± SD

Группа	День исследования	Лейкоциты, 10 ⁹ /л	Сегментоядерные нейтрофилы, %	Лимфоциты, %	Моноциты, %	Эозинофилы, %	Базофилы, %	Эритроциты, млн/мкл	Гемоглобин, г/л	Гематокрит, %	Среднее содержание НЬ в эритроците, ед/л	Тромбоциты, тыс/мкл	Тромбоцит, %
Контроль	Д1 (до)	11,0±4,44	58,4±13,20	35,0±12,89	1,8±0,78	3,9±1,62	0,1±0,05	7,5±0,93	110,8±21,32	30,7±4,69	14,7±2,02	267,2±112,32	0,3±0,12
	Д 21	11,7±4,52	64,1±12,21	28,9±12,26	2,5±1,06	4,3±1,26	0,2±0,12	7,5±0,73	112,7±20,99	31,2±3,89	14,9±1,77	262,5±154,12	0,3±0,15
	Д 43	11,7±3,98	59,0±20,68	33,3±19,58	2,8±1,76	4,6±1,40	0,4±0,25	7,9±0,92	113,8±17,58	31,3±3,85	14,5±1,69	306,7±143,35	0,3±0,13
	Д 56	11,4±3,74	56,4±24,25	37,4±24,02	2,1±0,87	4,2±1,44	0,3±0,19	8,0±0,80	116,3±14,99	32,5±3,58	14,6±1,50	305,0±147,90	0,3±0,13
1-я опытная группа	Д1 (до)	12,1±3,70	64,1±11,05	27,3±12,11	1,7±0,55	4,8±0,94	0,1±0,08	8,6±1,70	117,2±27,32	31,7±7,68	13,7±0,71	284,5±52,52	0,3±0,06
	Д 21	12,2±1,72	56,1±12,29	36,3±13,04	3,6±1,89	3,8±1,17	0,2±0,11	8,8±1,73	122,0±21,45	33,5±5,90	14,6±1,51	304,5±73,43	0,2±0,04
	Д 43	11,9±2,99	58,4±8,14	33,8±9,01	4,0±1,99	3,8±1,05	0,3±0,14	8,4±1,38	120,2±19,18	33,1±4,96	14,4±1,90	266,8±66,46	0,2±0,04
	Д 56	12,2±4,04	52,4±7,81	39,6±9,30	4,0±2,46	4,3±1,29	0,2±0,08	8,3±1,32	122,2±17,21	34,1±3,82	14,8±1,5	271,5±61,61	0,3±0,05
2-я опытная группа	Д1 (до)	13,6±5,34	59,6±12,78	31,5±10,58	3,2±0,85	4,6±1,27	0,3±0,18	8,7±1,45	119,2±19,51	32,0±4,92	13,7±1,21	305,3±106,31	0,3±0,11
	Д 21	14,0±5,14	55,8±11,40	33,7±11,58	3,9±2,33	6,4±3,02	0,2±0,15	8,8±1,33	119,5±17,83	32,2±4,30	13,7±1,23	318,5±74,71	0,3±0,1
	Д 43	13,4±5,14	51,8±12,39	38,7±11,20	3,6±1,13	5,7±2,76	0,3±0,17	8,7±1,15	123,2±13,41	32,5±4,11	14,2±1,42	312,3±72,73	0,3±0,08
	Д 56	11,8±4,53	59,2±14,22	33,7±12,07	2,7±1,28	4,6±2,01	0,3±0,10	8,7±1,07	125,3±15,0	33,2±3,26	14,4±0,97	286,8±92,82	0,3±0,09

Примечание: данные представлены как Mean ± SD; единицы измерения: лейкоциты — 10⁹/л; эритроциты — 10¹²/л; гемоглобин — г/л; гематокрит — %; тромбоциты — 10⁹/л

Достоверных изменений показателей общего анализа крови не выявлено. Межгрупповых различий не установлено.

Можно отметить слабую тенденцию к увеличению доли эозинофилов во 2-й опытной группе: с 4,60±1,27% до 6,37±3,02% к 21 дню (середина курса применения «ГастроПро») и 5,68±2,76% к 43 дню (окончание курса применения «ГастроПро»). По окончании периода отмены доля эозинофилов было сопоставима с исходной и составляла 4,58±2,01%. То есть, во 2-й группе по сравнению с начальными данными количество эозинофилов возросло на 38,41% к 21 дню исследования и на 23,55% к 43 дню исследования, а к 56 дню понизилось до исходного уровня. В контрольной группе также отмечена слабая тенденция к увеличению доли эозинофилов в пределах физиологической нормы. Рост составлял от 8,90% на 21 день до 17,37% на 43 день исследования. В 1й опытной группе показатель доли эозинофилов значимо не изменялся и находился в границах нормы. Но на 21-й и 43-й дни исследований доля эозинофилов была ниже на 19,93% и 21,33% соответственно по сравнению с данными на начало исследования, а на 56-й день — на 9,16% по сравнению с началом опыта.

В связи с отсутствием достоверных внутригрупповых и межгрупповых различий существенной клинической значимости данные изменения доли эозинофилов не имеют.

⁹ Patel P, John S. Sucralfate. [Updated 2024 Feb 28]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551527/> (дата обращения 08.08.2026)

Таблица 4. Динамика изменения биохимических показателей крови кошек после многократного введения препарата «ГастроПро», Mean $\pm$ SD

Table 4. Dynamics of changes in biochemical parameters of blood of cats after repeated administration of the drug "GastroPro", Mean $\pm$ SD

Группа	День исследования	Наименование показателя										
		Показатели, отражающие состояние печени и органов ЖКТ					Показатели белкового обмена					Фосфор, ммоль/л
		АСТ, ед/л	АЛТ, ед/л	ЩФ, ед/л	Общий билирубин, мкмоль/л	Прямой билирубин, мкмоль/л	Креатинин, млмоль/л	Мочевина, млмоль/л	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Глобулин, г/л	
Контроль	Д1 (до)	19,5±8,4	53,4±14,8	73,7±24,2	3,1±1,0	1,7±0,4	111,5±17,2	8,3±3,4	67,2±8,6	26,7±1,9	40,5±8,2	1,6±0,1
	Д 21	26,1±8,7	63,6±25,0	79,0±24,2	3,1±0,4	1,7±0,6	96,4±15,4	5,9±2,4	67,4±4,1	31,6±4,1	35,8±6,2	1,9±0,4
	Д 43	28,4±9,9	70,3±25,2	74,2±39,3	2,6±0,4	1,7±0,4	98,5±16,2	5,9±0,9	62,1±7,0	29,1±4,13	33,0±7,1	1,6±0,4
	Д 56	36,0±10,0	71,0±19,3	77,3±29,9	3,2±0,4	1,5±0,4	87,5±12,3	6,9±1,2	70,5±7,3	30,1±4,7	40,4±10,3	1,6±0,4
1-я опытная группа	Д1 (до)	19,2±5,8	57,3±17,1	59,0±14,0	2,5±0,4	1,7±0,1	95,0±11,8	8,2±1,1	65,8±4,2	30,3±1,4	35,7±2,8	1,6±0,1
	Д 21	20,9±3,5	64,9±10,8	71,5±19,9	2,9±0,2	1,5±0,2	98,8±13,6	5,7±1,6	69,7±6,3	32,2±3,9	37,4±7,7	1,8±0,2
	Д 43	24,3±5,9	51,0±16,4	58,2±11,9	3,0±0,3	2,0±0,5	96,8±8,9	5,8±0,5	63,0±3,9	31,1±4,3	31,9±3,3	1,6±0,2
	Д 56	26,0±4,2	54,0±17,8	67,7±26,1	3,0±0,5	1,6±0,6	97,2±5,3	6,0±0,4	65,9±2,4	33,6±0,9	32,3±2,3	1,7±0,2
2-я опытная группа	Д1 (до)	23,9±7,2	74,5±26,3	79,2±33,2	3,2±0,5	1,6±0,2	88,9±18,2	8,6±1,5	65,2±5,3	30,1±3,2	35,1±7,3	1,8±0,1
	Д 21	25,2±7,4	75,6±26,8	92,8±26,6	3,1±0,5	1,5±0,2	90,1±13,0	5,7±0,9	72,4±6,5	31,1±4,5	41,3±10,1	2,0±0,3
	Д 43	27,7±7,2	77,5±33,9	75,8±26,0	2,3±0,5	1,6±0,5	95,7±17,4	5,8±1,1	62,0±5,0	30,0±2,4	32,0±5,2	1,5±0,3
	Д 56	31,6±4,1	77,9±36,4	69,0±37,0	3,0±0,6	1,3±0,4	92,9±16,7	6,2±1,0	64,5±2,9	31,5±2,8	33,0±4,4	1,5±0,3

Динамика биохимических показателей крови приведена в таблице 4.

При статистическом анализе результатов биохимического анализа крови внутригрупповых и межгрупповых различий не выявлено.

На протяжении всего периода наблюдений усредненные значения основных показателей белкового, углеводного обмена (общий белок, альбумин, мочевина, креатинин, глюкоза), а также показатели, используемые для характеристики функций печени и органов ЖКТ, пигментного обмена (АСТ, АЛТ, ЩФ, общий и прямой билирубин) находились в пределах физиологической нормы и значимо не изменялись. Показатели мочевины и креатинина являются также косвенными показателями функции почек. Отсутствие отрицательной динамики данных показателей может свидетельствовать об отсутствии нежелательного влияния на фильтрационную функцию почек кошек. У некоторых животных опытных групп отмечен хилез сыворотки крови (интенсивность +). Других существенных изменений не выявлено.

Содержание фосфора в крови у кошек контрольной группы и 1-й опытной группы существенно не изменялось в течение всего периода наблюдений и находилось в диапазоне 1,6–1,9 ммоль/л. У животных 2-й опытной группы отмечена тенденция к снижению уровня фосфора крови в пределах физиологической нормы на 43 и 56 дни исследования. Так, содержание фосфора в этих временных точках составляло 1,5 $\pm$ 0,3 ммоль/л, что было на 16,7% ниже исходного уровня 1,8 $\pm$ 0,1 ммоль/л.

Таблица 5. Динамика показателей общего анализа мочи кошек после многократного введения препарата «ГастроПро» (средние значения по всем группам), Mean $\pm$ SD

Table 5. Dynamics of changes in the indicators of the general urinalysis of cats after repeated administration of the drug "GastroPro" (mean values across all groups), Mean $\pm$ SD

Группа	День исследования	Наименование показателя		
		Белок, г/л	Значение pH	Отн. плотность, г/мл
Контроль	До	0,40 $\pm$ 0,14	6,30 $\pm$ 0,40	1,039 $\pm$ 0,007
	Д 43	0,58 $\pm$ 0,13	6,53 $\pm$ 0,41	1,032 $\pm$ 0,006
	Д 56	0,38 $\pm$ 0,15	6,37 $\pm$ 0,29	1,029 $\pm$ 0,006
1-я опытная группа	До	0,39 $\pm$ 0,12	6,28 $\pm$ 0,40	1,045 $\pm$ 0,007
	Д 43	0,46 $\pm$ 0,17	6,17 $\pm$ 0,41	1,045 $\pm$ 0,005
	Д 56	0,35 $\pm$ 0,07	6,25 $\pm$ 0,23	1,041 $\pm$ 0,010
2-я опытная группа	До	0,32 $\pm$ 0,08	6,32 $\pm$ 0,40	1,035 $\pm$ 0,008
	Д 43	0,37 $\pm$ 0,12	6,15 $\pm$ 0,21	1,037 $\pm$ 0,005
	Д 56	0,28 $\pm$ 0,08	6,15 $\pm$ 0,19	1,034 $\pm$ 0,008

Результаты общего анализа мочи представлены в таблице 5. Достоверных изменений показателей общего анализа мочи не установлено. Согласно проведенной микроскопии осадка мочи, признаков воспалительных процессов или уролитиаза у животных всех групп в течение всего периода наблюдений не было.

Оценка местно-раздражающего действия. В течение всего периода наблюдений проводили регулярный осмотр ротовой полости животных для оценки состояния слизистой оболочки, десен, зубов, языка. В первый день исследования

оценку проводили трижды: через 20–30 мин после первого введения «ГастроПро», через 3 часа и затем перед повторным введением препарата «ГастроПро» и через 30 мин после этого. Признаков раздражающего действия не выявлено. Слизистая оболочка ротовой полости у особей опытных групп была розового или бледно-розового цвета на всем протяжении эксперимента как в дни введения препарата, так и в период отмены. Полученные результаты согласуются с литературными данными об отсутствии местно-раздражающего действия у сукральфата. Это дополнительно подтверждает, что кратковременная гиперсаливация у отдельных кошек является рефлекторной и не связана с местным раздражающим действием компонентов препарата.

Длительное 42-дневное пероральное введение препарата «ГастроПро» клинически здоровым кошкам в максимальной суточной терапевтической дозе (7,5 мл) и трехкратной максимальной суточной терапевтической дозе (22,5 мл) не сопровождается гибелью животных, возникновением внешних признаков общей интоксикации (апатия, отказ от корма, нарушение двигательной активности, изменение ЧСС, ЧД, температуры тела, и т.д.), а также не сопровождается достоверными изменениями показателей общеклинического, биохимического анализа крови, общего анализа мочи. Местной реакции при многократном введении препарата «ГастроПро» не выявлено. У отдельных животных была зарегистрирована кратковременная гиперсаливация, обусловленная рефлекторным ответом на введение непищевых компонентов. Также были отмечены эпизоды рвоты, не сопровождающиеся нарушениями со стороны общего состояния, общеклинических и биохимических показателей крови. Вероятность возникновения эпизодов рвоты в 1-й опытной группе 0,09% в сутки у 33,3% животных в течение 42-дневный курса. Во 2-й группе при применении трехкратной суточной дозы вероятность возникновения была выше: 0,09–0,40% в сутки у 50% животных. Данные эпизода рвоты на фоне стабильного состояния кошек могут быть проявлениями тошноты,

описанной как возможное нежелательное явление при применении сукральфата, особенно в больших дозах.

Во всех случаях симптомы полностью устраняются после отмены препарата, без необходимости дополнительных лечебных мероприятий.

Достоверного изменения содержания фосфора в крови животных не установлено. Длительное применение препарата «ГастроПро» в терапевтической дозе не сопровождалось снижением уровня фосфора в крови. Применение данного препарата кошкам в повышенной дозе сопровождалось умеренным снижением фосфора крови (16,7%, $p > 0,05$) в пределах физиологической нормы. Данный факт свидетельствует о слабых свойствах препарата на основе сукральфата как фосфатбиндера.

Выводы/Conclusion

В условиях проведенного исследования препарат «ГастроПро» продемонстрировал хорошую переносимость клинически здоровыми кошками. Признаков интоксикации, местно-раздражающего действия при длительном 6-недельном применении препарата в максимальной суточной терапевтической дозе и дозе, ее превышающей в три раза, не установлено. Длительное применение препарата «ГастроПро» может сопровождаться у отдельных животных кратковременной гиперсаливацией и эпизодами тошноты/рвоты без нарушений со стороны общего состояния, общеклинических и биохимических показателей крови. Вероятность возникновения 0,09–0,40% в сутки. Малый размер выборки затрудняет точную экстраполяцию частоты проявления нежелательных явлений (тошноты, рвоты) на генеральную совокупность. После многократного 6-недельного введения трехкратной суточной дозы препарата «ГастроПро» установлена четкая тенденция к снижению фосфора крови.

В рамках проведенного исследования не выявлено признаков интоксикации и негативного влияния на клинические и лабораторные показатели. Несмотря на малый размер выборки, удалось получить достоверные данные, свидетельствующие о хорошей переносимости препарата «ГастроПро» в условиях проведенного исследования.

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. Н.А. Капай является руководителем научного отдела ООО «АлексАнн» — производителя исследуемого препарата «ГастроПро». Остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Н.А. Капай не участвовала в сборе первичных данных, оценке субъективных показателей (общее состояние, наличие рвоты, гиперсаливации) и не влияла на статистическую обработку и интерпретацию результатов. Исследование выполнено на базе приюта независимой группой исследователей

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 declared no conflict of interest. N.A. Kapay is the head of the scientific department at AleksAnn LLC, the manufacturer of the studied drug GastroPro. The other authors declare no conflict of interest. N.A. Kapay did not participate in the collection of primary data, assessment of subjective parameters (general condition, presence of vomiting, hypersalivation), and did not influence the statistical processing and interpretation of results. The study was conducted at an animal shelter by an independent group of researchers.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кухтерина Д.А., Столбова О.А. Распространение болезней желудочно-кишечного тракта у мелких домашних животных. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; (3): 211–217. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-113-3-211-217>

REFERENCES

1. Kukhterina D.A., Stolbova O.A. The spread of diseases of the gastrointestinal tract in small domestic animals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; (3): 211–217 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-113-3-211-217>

2. He W., Connolly E.D., Wu G. Characteristics of the Digestive Tract of Dogs and Cats. Wu G. (ed.). Nutrition and Metabolism of Dogs and Cats. Cham: Springer. 2024; 15–38. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54192-6_2
3. Байуров Л.И., Гетман А.А. Физиологические особенности пищеварения у кошек. *Научный журнал КубГАУ*. 2022; 183. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-183-003>
4. Кривова Н.А., Заева О.Б., Павленко О.А. Недоисследованная барьерная функция слизистого слоя. *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки*. 2022; (1): 94–113. <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2022-138-1-94-113>
5. Stokes C., Waly N. Mucosal defence along the gastrointestinal tract of cats and dogs. *Veterinary Research*. 2006; 37(3): 281–293. <https://doi.org/10.1051/vetres:2006015>
6. Zoran D.L. Nutritional Management of Feline Gastrointestinal Diseases. *Topics in Companion Animal Medicine*. 2008; 23(4): 200–206. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2008.08.003>
7. Ватников Ю.А., Руденко П.А., Бугров Н.С., Руденко А.А. Оценка эффективности терапии компенсированного дисбактериоза кишечника у кошек. *Аграрная наука*. 2022; (1): 24–29. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-24-29>
8. Ефимов В.Я. Распространение заболеваний желудочно-кишечного тракта у сельскохозяйственных животных и применение препаратов гастропротекторного типа для их лечения. *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии*. 2025; (2): 100–102. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.2.100>
9. Rhue K.E., Biddick A.A., Foltz K.M., Cole R.C., Newton J.C., Bacek L.A. Emphysematous gastritis in a cat. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*. 2018; 28(6): 596–602. <https://doi.org/10.1111/vec.12779>
10. Černá P. et al. Clinicopathological findings, treatment, and outcome in 60 cats with gastrointestinal eosinophilic sclerosing fibroplasia. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2024; 38(2): 1005–1012. <https://doi.org/10.1111/jvim.16992>
11. Fulton E., Hammond G., Marchesi F., Hernández Pérez M., Ridyard A.E. Feline Emphysematous Gastritis in a Cat with Pancreatitis and Secondary Hepatic Lipidosis. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 2022; 58(4): 207–212. <https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-7228>
12. Акчурина С.В., Дюльгер Г.П., Акчурина И.В., Бычков В.С., Седлецкая Е.С. Основные лекарственные средства для кошек и собак в российской ветеринарной практике. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2023; (2): 109–123. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-2-109-123>
13. Quimby J.M., Brock W.T., Moses K., Bolotin D., Patricelli K. Chronic use of maropitant for the management of vomiting and inappetence in cats with chronic kidney disease: a blinded, placebo-controlled clinical trial. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2015; 17(8): 692–697. <https://doi.org/10.1177/1098612X14555441>
14. Наумова О.В., Максимович Д.М., Журавель Н.А. Оценка эффективности схем и методов лечения кошек при остром панкреатите. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2023; 253: 195–200. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_253_195
15. Linton M. et al. Feline gastrointestinal eosinophilic sclerosing fibroplasia: 13 cases and review of an emerging clinical entity. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2015; 17(5): 392–404. <https://doi.org/10.1177/1098612X14568170>
16. Marks S.L., Kook P.H., Papich M.G., Tolbert M.K., Willard M.D. ACVIM consensus statement: Support for rational administration of gastrointestinal protectants to dogs and cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2018; 32(6): 1823–1840. <https://doi.org/10.1111/jvim.15337>
17. Благова Ю.В., Зирук И.В., Салаутин В.В. Современные методы лечения гастритов у собак. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2024; 258: 26–30. EDN JJVOHG
18. Tolbert K., Stubbs E. Rational use of gastroprotectants in cats: an evidence-based approach. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2024; 26(8): 1098612X241274235. <https://doi.org/10.1177/1098612X241274235>
19. Bazelle J., Threlfall A., Whitley N. Gastroprotectants in small animal veterinary practice — a review of the evidence. Part 1: cyto-protective drugs. *The Journal of Small Animal Practice*. 2018; 59(10): 587–602. <https://doi.org/10.1111/jsap.12867>
20. Сковртсов В.В., Заклякова Л.В., Левитан Б.Н., Болгова М.Ю., Закляков И.К., Голиева Э.А. Современные подходы в фармакотерапии хронического гастрита. *Медицинский Совет*. 2021; (15): 40–47. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-15-40-47>
21. Ullal T.V., Marks S.L., Evenhuis J.V., Figueroa M.E., Pomerantz L.K., Forsythe L.R. Evaluation of gastroprotectant administration in hospitalized cats in a tertiary referral hospital. *Journal of feline medicine and surgery*. 2023; 25(10): 1098612X231201769. <https://doi.org/10.1177/1098612X231201769>
22. Liptak J. et al. Gastrointestinal Ulceration in Cats: Eight Cases and a Review of the Literature. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2002; 4(1): 27–42. <https://doi.org/10.1053/jfms.2001.0148>
23. Jensen S.L., Funch Jensen P. Role of Sucralfate in Peptic Disease. *Digestive Diseases*. 1992; 10(3): 153–161. <https://doi.org/10.1159/000171353>
24. Vucelić B., Hadžić N., Gragas J., Purić Z. Changes in serum phosphorus, calcium and alkaline phosphatase due to sucralfate. *International Journal of Clinical Pharmacology, Therapy, and Toxicology*. 1986; 24(2): 93–96.
25. Tarnawski A., Hollander D., Krause W.J., Zipser R.D., Stachura J., Gergely H. Does Sucralfate Affect the Normal Gastric Mucosa? Histologic, Ultrastructural, and Functional Assessment in the Rat. *Gastroenterology*. 1986; 90(4): 893–905. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(86\)90865-6](https://doi.org/10.1016/0016-5085(86)90865-6)
26. Robertson J.A., Salusky I.B., Goodman W.G., Norris K.C., Coburn J.W. Sucralfate, Intestinal Aluminum Absorption, and Aluminum Toxicity in a Patient on Dialysis. *Annals of Internal Medicine*. 1989; 111(2): 179–181. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-111-2-179>
27. Abtahi-Naeini B. et al. Topical sucralfate for treatment of mucocutaneous conditions: A systematic review on clinical evidences. *Dermatologic Therapy*. 2022; 35(4): e15334. <https://doi.org/10.1111/dth.15334>
28. Accorroni L. et al. Topical Use of Sucralfate in Cutaneous Wound Management: A Narrative Review with a Veterinary Perspective. *Veterinary Sciences*. 2025; 12(8): 756. <https://doi.org/10.3390/vetsci12080756>
29. Kook P.H. Ptyalism in dogs and cats - a short review. Zurich Open Repository and Archive. 2013. <https://doi.org/10.5167/uzh-72882>
2. He W., Connolly E.D., Wu G. Characteristics of the Digestive Tract of Dogs and Cats. Wu G. (ed.). Nutrition and Metabolism of Dogs and Cats. Cham: Springer. 2024; 15–38. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54192-6_2
3. Bayurov L.I., Getman A.A. Physiological features of digestion in cats. *Scientific Journal of KubSAU*. 2022; 183 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-183-003>
4. Krivova N.A., Zaeva O.B., Pavlenko O.A. The under-researched barrier function of the mucus layer. *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Bioscience Series*. 2022; (1): 94–113 (in Russian). <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2022-138-1-94-113>
5. Stokes C., Waly N. Mucosal defence along the gastrointestinal tract of cats and dogs. *Veterinary Research*. 2006; 37(3): 281–293. <https://doi.org/10.1051/vetres:2006015>
6. Zoran D.L. Nutritional Management of Feline Gastrointestinal Diseases. *Topics in Companion Animal Medicine*. 2008; 23(4): 200–206. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2008.08.003>
7. Vatinikov Yu.A., Rudenko P.A., Bugrov N.S., Rudenko A.A. Evaluation of the effectiveness of therapy for compensated intestinal dysbiosis in cats. *Agrarian science*. 2022; (1): 24–29 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-24-29>
8. Efimov V.Ya. The spread of gastrointestinal diseases in farm animals and the use of gastroprotective drugs for their treatment. *Legal regulation in veterinary medicine*. 2025; (2): 100–102 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.2.100>
9. Rhue K.E., Biddick A.A., Foltz K.M., Cole R.C., Newton J.C., Bacek L.A. Emphysematous gastritis in a cat. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*. 2018; 28(6): 596–602. <https://doi.org/10.1111/vec.12779>
10. Černá P. et al. Clinicopathological findings, treatment, and outcome in 60 cats with gastrointestinal eosinophilic sclerosing fibroplasia. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2024; 38(2): 1005–1012. <https://doi.org/10.1111/jvim.16992>
11. Fulton E., Hammond G., Marchesi F., Hernández Pérez M., Ridyard A.E. Feline Emphysematous Gastritis in a Cat with Pancreatitis and Secondary Hepatic Lipidosis. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 2022; 58(4): 207–212. <https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-7228>
12. Akchurin S.V., Dylger G.P., Akchurina I.V., Bychkov V.S., Sedletskaia E.S. Essential medicines for cats and dogs in russian veterinary practice. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2023; (2): 109–123 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-2-109-123>
13. Quimby J.M., Brock W.T., Moses K., Bolotin D., Patricelli K. Chronic use of maropitant for the management of vomiting and inappetence in cats with chronic kidney disease: a blinded, placebo-controlled clinical trial. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2015; 17(8): 692–697. <https://doi.org/10.1177/1098612X14555441>
14. Naumova O.V., Maksimovich D.M., Zhuravel N.A. Evaluation of the effectiveness of schemes and methods of treatment of cats in acute pancreatitis. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2023; 253: 195–200 (in Russian). https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_253_195
15. Linton M. et al. Feline gastrointestinal eosinophilic sclerosing fibroplasia: 13 cases and review of an emerging clinical entity. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2015; 17(5): 392–404. <https://doi.org/10.1177/1098612X14568170>
16. Marks S.L., Kook P.H., Papich M.G., Tolbert M.K., Willard M.D. ACVIM consensus statement: Support for rational administration of gastrointestinal protectants to dogs and cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2018; 32(6): 1823–1840. <https://doi.org/10.1111/jvim.15337>
17. Blagova Yu.V., Zirik I.V., Salautin V.V. Modern methods for the treatment of gastritis in dogs. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2024; 258: 26–30 (in Russian). EDN JJVOHG
18. Tolbert K., Stubbs E. Rational use of gastroprotectants in cats: an evidence-based approach. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2024; 26(8): 1098612X241274235. <https://doi.org/10.1177/1098612X241274235>
19. Bazelle J., Threlfall A., Whitley N. Gastroprotectants in small animal veterinary practice — a review of the evidence. Part 1: cyto-protective drugs. *The Journal of Small Animal Practice*. 2018; 59(10): 587–602. <https://doi.org/10.1111/jsap.12867>
20. Skvortsov V.V., Zaklyakova L.V., Levitan B.N., Bolgova M.Y., Zaklyakov I.K., Golieva E.A. Modern approaches to pharmacotherapy of chronic gastritis. *Medical Council*. 2021; (15): 40–47 (in Russian). <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-15-40-47>
21. Ullal T.V., Marks S.L., Evenhuis J.V., Figueroa M.E., Pomerantz L.K., Forsythe L.R. Evaluation of gastroprotectant administration in hospitalized cats in a tertiary referral hospital. *Journal of feline medicine and surgery*. 2023; 25(10): 1098612X231201769. <https://doi.org/10.1177/1098612X231201769>
22. Liptak J. et al. Gastrointestinal Ulceration in Cats: Eight Cases and a Review of the Literature. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2002; 4(1): 27–42. <https://doi.org/10.1053/jfms.2001.0148>
23. Jensen S.L., Funch Jensen P. Role of Sucralfate in Peptic Disease. *Digestive Diseases*. 1992; 10(3): 153–161. <https://doi.org/10.1159/000171353>
24. Vucelić B., Hadžić N., Gragas J., Purić Z. Changes in serum phosphorus, calcium and alkaline phosphatase due to sucralfate. *International Journal of Clinical Pharmacology, Therapy, and Toxicology*. 1986; 24(2): 93–96.
25. Tarnawski A., Hollander D., Krause W.J., Zipser R.D., Stachura J., Gergely H. Does Sucralfate Affect the Normal Gastric Mucosa? Histologic, Ultrastructural, and Functional Assessment in the Rat. *Gastroenterology*. 1986; 90(4): 893–905. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(86\)90865-6](https://doi.org/10.1016/0016-5085(86)90865-6)
26. Robertson J.A., Salusky I.B., Goodman W.G., Norris K.C., Coburn J.W. Sucralfate, Intestinal Aluminum Absorption, and Aluminum Toxicity in a Patient on Dialysis. *Annals of Internal Medicine*. 1989; 111(2): 179–181. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-111-2-179>
27. Abtahi-Naeini B. et al. Topical sucralfate for treatment of mucocutaneous conditions: A systematic review on clinical evidences. *Dermatologic Therapy*. 2022; 35(4): e15334. <https://doi.org/10.1111/dth.15334>
28. Accorroni L. et al. Topical Use of Sucralfate in Cutaneous Wound Management: A Narrative Review with a Veterinary Perspective. *Veterinary Sciences*. 2025; 12(8): 756. <https://doi.org/10.3390/vetsci12080756>
29. Kook P.H. Ptyalism in dogs and cats - a short review. Zurich Open Repository and Archive. 2013. <https://doi.org/10.5167/uzh-72882>

ОБ АВТОРАХ

Назар Валентинович Явников¹

кандидат ветеринарных наук, доцент
virus0401@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6900-331X>

Надежда Анатольевна Капай²

кандидат биологических наук
nkapay@aleksann.ru

Анна Леонидовна Москвина¹

кандидат биологических наук
moskvina.a.l@pgau.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7856-7857>

¹ Пензенский государственный аграрный университет,
ул. Ботаническая, д. 30, г. Пенза, Россия

² ООО «АлексАнн»,
ул. Виноградная, д. 13, Долгопрудный, Московская
область, 141705, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Nazar Valentinovich Yavnikov¹

candidate of Veterinary Sciences
virus0401@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6900-331X>

Nadezhda Anatolievna Kapay²

Candidate of Biological Sciences
nkapay@aleksann.ru

Anna Leonidovna Moskvina¹

Candidate of Biological Sciences
moskvina.a.l@pgau.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7856-7857>

¹ Penza State Agrarian University,
30 Botanicheskaya st., Penza, Russia

² AleksAnn LLC,
13 Vinogradnaja st., Dolgoprudniy, Moscow region, 141705,
Russia



Достойное вознаграждение за привлеченную рекламу от ИД «Аграрная наука»

Вы



- общительны и активны
- владеете связями в сфере АПК
- имеете время и желание
- хотите заработать

Мы гарантируем

- ☒ интересную работу по привлечению
рекламы в проекты ИД
- ☒ свободный, удобный график
- ☒ официальное оформление
- ☒ щедрый % за принесенную вами
рекламу

Звоните +7 (916) 616-05-31

Реклама

УДК 619:579.62:579.84:615.33

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-25-31

И.В. Антонеvский

Н.А. Лещёва ✉

В.И. Плешакова

Е.В. Фрик

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск, Россия

✉ na.lescheva@omgau.org

Поступила в редакцию: 16.04.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Антонеvский И.В., Лещёва Н.А., Плешакова В.И., Фрик Е.В.

Фенотипические изменения биопленкообразования *Escherichia coli* при воздействии антибактериальных препаратов и их сочетаний

РЕЗЮМЕ

В работе изучено влияние субингибирующих концентраций фторхинолонов энрофлоксацина и левофлоксацина, а также их комбинации на формирование бактериальных биопленок *Escherichia coli* при индукции SOS-ответа. Объектом исследования служили 46 клинических изолятов *E. coli*, выделенных из различных биотопов сельскохозяйственных животных, а также референтный штамм *E. coli* JW5503 (Δ tolC), несущий флуоресцентную репортерную систему TurboRFP. Биопленкообразование оценивали количественно методом окрашивания генцианвиолетом с последующим измерением оптической плотности, а активацию SOS-ответа у референтного штамма регистрировали при помощи трансиллюминатора и методом люминесцентной микроскопии. Установлено, что у референтного штамма под действием энрофлоксацина оптическая плотность увеличивалась с $0,26 \pm 0,05$ до $0,500 \pm 0,04$ (прирост 92,3 %; $p < 0,05$), при воздействии левофлоксацина — до $0,462 \pm 0,06$ (прирост 76,9%; $p < 0,05$), что соответствовало переходу от низкой к средней степени биопленкообразования. При воздействии на исследуемые клинические изоляты энрофлоксацином ($0,125$ мкг/мл) отмечался максимальный прирост биомассы биопленки на 40,2% ($p < 0,01$), тогда как левофлоксацин вызывал дозозависимое снижение показателя на 39,8% при концентрации $0,25$ мкг/мл ($p < 0,01$). При комбинированном применении энрофлоксацина и левофлоксацина в отношении клинических изолятов наблюдалось наиболее выраженное усиление биопленкообразования на 61,2% относительно контрольных значений ($p < 0,01$). Таким образом, субингибирующие концентрации фторхинолонов оказывают разнонаправленное влияние на биопленкообразование *E. coli*, при этом их комбинация способствует его усилению за счет активации стресс-индуцированных адаптационных механизмов.

Ключевые слова: *Escherichia coli*, биопленки, антибиотикорезистентность, SOS-ответ, энрофлоксацин, левофлоксацин

Для цитирования: Антонеvский И.В., Лещёва Н.А., Плешакова В.И., Фрик Е.В. Фенотипические изменения биопленкообразования *Escherichia coli* при воздействии антибактериальных препаратов и их сочетаний. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 25–31. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-25-31>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-25-31

Igor V. Antonevskiy

Nadezhda A. Lescheva ✉

Valentina I. Pleshakova

Elisabeth V. Frick

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

✉ na.lescheva@omgau.org

Received by the editorial office: 16.04.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Antonevsky I.V., Lescheva N.A., Pleshakova V.I., Frick E.V.

Phenotypic changes in biofilm formation of *Escherichia coli* under the influence of antibacterial drugs and their combinations

ABSTRACT

This study examined the effects of subinhibitory concentrations of the fluoroquinolones enrofloxacin and levofloxacin, as well as their combination, on the formation of bacterial biofilms in *Escherichia coli* upon induction of the SOS response. The study involved 46 clinical isolates of *E. coli*, isolated from various farm animal habitats, as well as the reference strain *E. coli* JW5503 (Δ tolC), carrying the TurboRFP fluorescent reporter system. Biofilm formation was quantified using gentian violet staining followed by optical density measurement, and SOS response activation was recorded using a transilluminator and fluorescence microscopy. It was found that the optical density of the reference strain increased from 0.26 ± 0.05 to 0.50 ± 0.04 (an increase of 92.3%; $p < 0.05$) under the influence of enrofloxacin, and to 0.462 ± 0.06 (an increase of 76.9%; $p < 0.05$) under the influence of levofloxacin, which corresponded to the transition from a low to a moderate degree of biofilm formation. Upon exposure of the studied clinical isolates to enrofloxacin (0.125 μ g/mL), the maximum increase in biofilm biomass was observed, amounting to 40.2% ($p < 0.01$), whereas levofloxacin induced a dose-dependent decrease in this parameter by 39.8% at a concentration of 0.25 μ g/mL ($p < 0.01$). Combined administration of enrofloxacin and levofloxacin to the clinical isolates resulted in the most pronounced enhancement of biofilm formation, reaching 61.2% relative to control values ($p < 0.01$).

Key words: *Escherichia coli*, biofilms, antibiotic resistance, SOS response, enrofloxacin, levofloxacin

For citation: Antonevsky I.V., Lescheva N.A., Pleshakova V.I., Frick E.V. Phenotypic changes in biofilm formation of *Escherichia coli* under the influence of antibacterial drugs and their combinations. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 25–31 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-25-31>

Введение/Introduction

Формирование бактериальных биопленок рассматривается как один из ключевых факторов персистенции микроорганизмов в организме животных и на объектах животноводческой инфраструктуры [1]. Биопленки представляют собой сложные структурированные сообщества микроорганизмов, заключенные в матрикс внеклеточных полимеров, обеспечивающий защиту клеток от неблагоприятных факторов внешней среды, включая воздействие антимикробных препаратов. В ветеринарной практике биопленкообразование микроорганизмов ассоциируется с хроническим течением инфекционных болезней, снижением эффективности антибактериальной терапии и формированием устойчивых популяций бактерий [2, 3].

Особую актуальность данная проблема приобретает в отношении бактерий рода *Escherichia coli*, которые широко распространены в животноводстве и способны вызывать патологические процессы у сельскохозяйственных животных, включая заболевания желудочно-кишечного и респираторного трактов. При этом клинические изоляты *E. coli* характеризуются высокой вариабельностью как по способности к формированию биопленок, так и по профилю антибиотикочувствительности, что существенно затрудняет выбор эффективной антимикробной терапии [4, 5].

Одним из факторов, способных изменять поведение бактериальных клеток при воздействии антибиотиков, является стресс-индуцированный SOS-ответ, активирующийся в бактериальной клетке в ответ на повреждающее ДНК воздействие [6, 7]. Известно, что индукция SOS-ответа сопровождается перестройкой клеточных процессов, направленных на выживание популяции, включая активацию механизмов репарации ДНК, повышение мутагенеза и изменение экспрессии генов, вовлеченных в формирование биопленок [8]. В ряде исследований показано, что субингибирующие концентрации антибиотиков-индукторов SOS-ответа могут выступать как активаторы подобных ответных реакций, способствуя не только изменению чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам, но и усилению их способности к биопленкообразованию [9–11].

Особый интерес в этой связи представляет оценка сочетанного действия антибактериальных препаратов, поскольку в условиях практической ветеринарии комбинированная терапия имеет широкое распространение. При этом влияние комбинаций антибиотиков на биопленкообразование может носить разнонаправленный характер, от подавления формирования биопленки до ее стимуляции, что потенциально может способствовать хронизации инфекционного процесса и опосредовать формирование устойчивых микробных сообществ.

В связи с этим целью настоящего исследования явилась оценка фенотипических изменений

биопленкообразования клинических изолятов *Escherichia coli* при воздействии антибактериальных препаратов и их сочетаний.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование выполнено на базах кафедры ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ Омского ГАУ, БУ «Омская областная ветеринарная лаборатория». В исследовании использовали клинические изоляты *Escherichia coli*, выделенные от сельскохозяйственных животных с признаками инфекционной патологии. Всего проанализировано 46 изолятов, полученных из различных биотопов сельскохозяйственных животных и птиц. Идентификацию микроорганизмов проводили с использованием стандартных бактериологических методов.

В качестве референтной модели использовали биосенсорный штамм *E. coli* JW5503 (Δ tolC), содержащий репортерную систему pDualrep2, обеспечивающую регистрацию SOS-ответа за счет экспрессии флуоресцентного белка TurboRFP при активации промотора гена *sulA*.

Способность микроорганизмов к формированию биопленок оценивали микропланшетным методом. Для этого бактериальные культуры вносили в лунки 96-луночных полистироловых планшетов с питательной средой и инкубировали при 37 °C в течение 48 ч. После инкубации суспензию клеток удаляли, лунки промывали стерильным физиологическим раствором для удаления планктонных клеток, после чего образовавшиеся биопленки окрашивали генцианвиолетом. Связанный с биопленкой краситель экстрагировали и измеряли оптическую плотность (OD) на микропланшетном фотометре ELx800 («BioTek Instruments Inc.», США) при длине волны 490 нм. Категорирование изолятов по способности к биопленкообразованию осуществляли на основании концепции, предложенной Stepanovic *et al.* (2000) [12].

Оценку влияния антибактериальных препаратов на формирование биопленок проводили с использованием субингибирующих концентраций антибиотиков. В качестве индукторов SOS-ответа использовали антибактериальные препараты энрофлоксацин и левофлоксацин. Выбор препаратов обусловлен их принадлежностью к группе фторхинолонов, широко применяемых в ветеринарной практике, а также способностью индуцировать SOS-ответ за счет повреждения ДНК. В исследовании использовали субингибирующие концентрации препаратов (0,0625, 0,125 и 0,25 мкг/мл), соответствующие диапазону ниже минимальной подавляющей концентрации, что позволило моделировать условия неполного подавления роста микроорганизмов. При сочетанном применении препаратов интерпретацию субингибирующего действия проводили с учетом того, что используемые концентрации каждого

компонента находились ниже диапазона минимальной подавляющей концентрации для *E. coli* и не вызвали полного подавления роста культур в экспериментальных условиях. Применение комбинации препаратов использовали для оценки возможного потенцирования стресс-индуцированных адаптивных реакций микроорганизмов. Экспозицию осуществляли в течение 48 ч в условиях, аналогичных базовому эксперименту по формированию биопленок. Индукцию SOS-ответа подтверждали по регистрации флуоресценции репортерной системы референтного биосенсорного штамма с использованием трансиллюминатора Квант-312 («Helicon», Россия) и люминесцентного микроскопа Axio Scope.A1 («Carl Zeiss AG», Германия).

Оценку воздействия проводили путем сравнения значений оптической плотности биопленок в опытных и контрольных группах. Результаты выражали в виде абсолютных значений OD, а также относительного изменения биомассы биопленки по сравнению с контролем.

Экспериментальные исследования проводили в двух повторностях. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием Statistica V12. Проверку нормальности распределения проводили с использованием критерия Шапиро-Уилка. Для сравнения групп применяли параметрические и непараметрические критерии в зависимости от характера распределения данных. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для сопоставления полученных данных с модельной системой SOS-ответа проведено сравнение показателей биопленкообразования клинических изолятов *Escherichia coli* с референтным штаммом *E. coli* JW5503 (Δ tolC), несущим репортерную систему pDualrep2 (рис. 1).

Базовый уровень биопленкообразования референтного штамма *Escherichia coli* JW5503 (Δ tolC) составил $0,260 \pm 0,05$ единиц оптической плотности, что соответствует низкой степени

биопленкообразующей способности. При воздействии энрофлоксацина показатель увеличивался в среднем до $0,500 \pm 0,04$, что соответствует приросту на 92,3%. При воздействии левофлоксацина среднее значение OD составило $0,462 \pm 0,06$, что соответствует увеличению на 76,9%. Повышение OD при воздействии энрофлоксацина и левофлоксацина по сравнению с контролем было статистически значимым ($p < 0,05$).

В отличие от референтного штамма, клинические изоляты *E. coli* демонстрировали значительно более высокую вариабельность исходных значений оптической плотности, охватывающих диапазон от слабой до выраженной степени биопленкообразования. При этом среднее значение оптической плотности нативных культур составило $0,457 \pm 0,20$, что свидетельствует о более высоком исходном биопленкообразующем потенциале нативных штаммов.

При воздействии субингибирующих концентраций антибактериальных препаратов у клинических изолятов наблюдали достоверное увеличение биомассы биопленки (табл. 1).

При воздействии на клинические изоляты *E. coli* энрофлоксацином в концентрации 0,0625 мкг/мл прирост оптической плотности составил в среднем 19,5% относительно контроля ($p < 0,05$), тогда как при концентрации 0,125 мкг/мл отмечался максимальный эффект, который выражался приростом на 40,2% ($p < 0,01$). При повышении концентрации до 0,25 мкг/мл прирост снижался до 11,3%, однако оставался статистически значимым ($p < 0,05$).

Левофлоксацин в субингибирующих концентрациях, напротив, демонстрировал выраженное ингибирующее действие в отношении исследуемых клинических штаммов. При концентрации 0,0625 мкг/мл снижение оптической плотности составило 6,2% ($p > 0,05$), при 0,125 мкг/мл снижение OD фиксировали на уровне 22,4 % ($p < 0,05$), а при

Таблица 1. Изменение биомассы биопленки клинических изолятов *E. coli* при воздействии субингибирующих концентраций антибиотиков

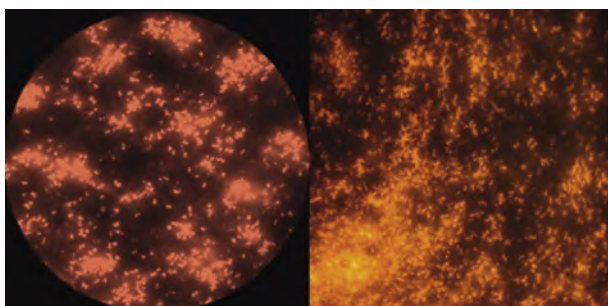
Table 1. Changes in biofilm biomass of clinical isolates of *E. coli* when exposed to subinhibitory concentrations of antibiotics

Препарат	Концентрация, мкг/мл	Изменение средней оптической плотности OD $\pm$ SD	
		абс. зн.	%
ЭНР	0,0625	$\uparrow 0,08 \pm 0,04$	$\uparrow 19,5$
ЭНР	0,125	$\uparrow 0,18 \pm 0,07$	$\uparrow 40,2$
ЭНР	0,25	$\uparrow 0,05 \pm 0,03$	$\uparrow 11,3$
ЛФЦ	0,0625	$\downarrow 0,02 \pm 0,03$	$\downarrow 6,2$
ЛФЦ	0,125	$\downarrow 0,10 \pm 0,05$	$\downarrow 22,4$
ЛФЦ	0,25	$\downarrow 0,18 \pm 0,08$	$\downarrow 39,8$
ЭНР+ЛФЦ	0,0625+0,0625	$\uparrow 0,11 \pm 0,05$	$\uparrow 24,3$
ЭНР+ЛФЦ	0,125+0,125	$\uparrow 0,27 \pm 0,09$	$\uparrow 61,2$
ЭНР+ЛФЦ	0,25+0,25	$\uparrow 0,13 \pm 0,06$	$\uparrow 28,6$

Примечание: «ЭНР» — энрофлоксацин, «ЛФЦ» — левофлоксацин, «OD» — оптическая плотность, «SD» — среднее квадратическое отклонение

Рис. 1. Визуализация индукции SOS-ответа в биопленке *Escherichia coli* JW5503 (Δ tolC) с использованием репортерной системы TurboRFP, люминесцентная микроскопия

Fig. 1. Visualization of the induction of the SOS response in the biofilm of *Escherichia coli* JW5503 (Δ tolC) using the TurboRFP reporter system, fluorescence microscopy



0,25 мкг/мл снижение достигло 39,8% ($p < 0,01$), что сопровождалось переходом части изолятов в категорию слабого биопленкообразования.

Наиболее выраженные изменения наблюдали при комбинированном воздействии энрофлоксацина и левофлоксацина на клинические изоляты *E. coli*. При концентрации препаратов 0,0625+0,0625 мкг/мл прирост оптической плотности составил 24,3% ($p < 0,05$), что превышало эффект моноприменения энрофлоксацина. Максимальный эффект регистрировали при концентрациях 0,125+0,125 мкг/мл, где увеличение биомассы биопленки достигало 61,2% относительно контроля ($p < 0,01$). При концентрации 0,25+0,25 мкг/мл прирост снижался до 28,6%, однако оставался статистически значимым ($p < 0,05$).

На рисунке 2 представлены результаты оценки изменения оптической плотности, отражающей количественные характеристики биомассы биопленки *Escherichia coli* при воздействии субингибирующих концентраций фторхинолонов энрофлоксацина и левофлоксацина, а также их применения в комбинации.

Установлено, что воздействие энрофлоксацина в исследуемых концентрациях (0,0625-0,25 мкг/мл) сопровождалось увеличением показателя оптической плотности биопленок исследуемых клинических изолятов относительно контрольных значений, что свидетельствует о стимуляции биопленкообразования. Наиболее выраженный эффект наблюдали при концентрации 0,125 мкг/мл, где регистрировали максимальный прирост биомассы биопленки. При дальнейшем увеличении концентрации до 0,25 мкг/мл интенсивность эффекта снижалась, что может быть связано с переходом от стимулирующего к частично ингибирующему действию антибиотика.

В противоположность этому, левофлоксацин демонстрировал дозозависимое ингибирующее влияние на формирование биопленок исследуемыми штаммами. При увеличении концентрации препарата отмечали последовательное снижение значений оптической плотности, достигающее максимума при 0,25 мкг/мл.

Наиболее значимые изменения в отношении клинических изолятов *E. coli* выявлены при сочетанном воздействии энрофлоксацина и левофлоксацина. В данной группе наблюдали наибольший прирост оптической плотности среди всех исследуемых условий, особенно при концентрации 0,125+0,125 мкг/мл, где фиксировали максимальные значения показателя. При концентрации 0,0625+0,0625 мкг/мл также отмечали увеличение биомассы биопленки, превышающее эффект применения энрофлоксацина в монорежиме. При этом при повышении концентрации до 0,25+0,25 мкг/мл величина несколько снижалась, однако оставалась выше контрольного уровня.

Полученные количественные данные согласуются с результатами морфологического анализа,

Рис. 2. Влияние субингибирующих концентраций энрофлоксацина, левофлоксацина и их комбинации на формирование биопленки *Escherichia coli*

Fig. 2. Effect of subinhibitory concentrations of enrofloxacin, levofloxacin and their combination on the formation of *Escherichia coli* biofilm

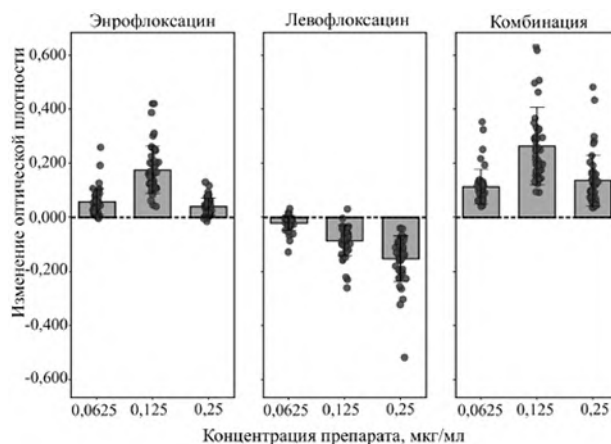
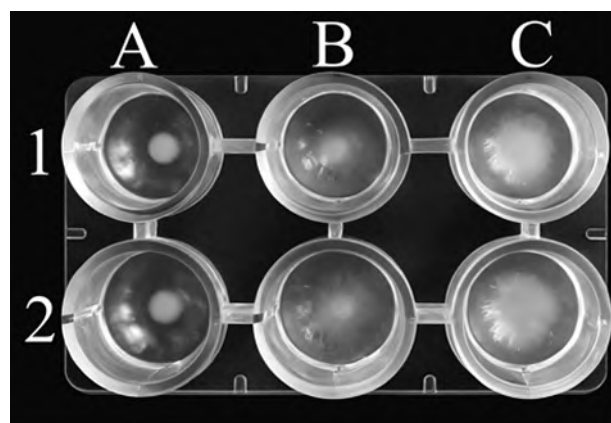


Рис.3. Морфологические изменения биопленок *Escherichia coli* при воздействии субингибирующих концентраций энрофлоксацина и комбинированного антимикробного давления, 37 °C, 48 ч

Fig. 3. Morphological changes in *Escherichia coli* biofilms under the influence of subinhibitory concentrations of enrofloxacin and combined antimicrobial pressure, 37 °C, 48 h



отражающего особенности пространственной организации биопленок при различных условиях воздействия антимикробных препаратов (рис. 3).

Лунки А-С отражают различные экспериментальные условия, тогда как ряды 1 и 2 соответствуют биологическим повторам. В контрольных образцах без воздействия препаратов (лунки А1-А2) наблюдали относительно однородное распределение биомассы с формированием локализованных участков уплотнения в центральной зоне лунки. Биопленка характеризовалась умеренной плотностью и слабой структурной дифференциацией, что соответствует базовому уровню биопленкообразования при отсутствии антимикробного давления.

В условиях воздействия субингибирующих концентраций энрофлоксацина (0,125 мкг/мл, лунки В1-В2) отмечали выраженное изменение морфологии биопленки, выражающееся в увеличении общей биомассы, появлении неоднородной структуры с участками уплотнения и радиально

ориентированных агрегатов. Наблюдаемая перестройка архитектоники биопленки свидетельствует о стимулирующем влиянии субингибирующих концентраций антибиотика на процессы адгезии и межклеточного взаимодействия.

В образцах, подвергнутых сочетанному антимикробному воздействию энрофлоксацина и левофлоксацина (0,125+0,125 мкг/мл, лунки C1–C2), формировалась более плотная, но при этом структурно гетерогенная биопленка с выраженной радиальной организацией и зонами неравномерного распределения клеточной массы.

Полученные результаты демонстрируют, что воздействие субингибирующих концентраций фторхинолонов оказывает выраженное влияние на процессы формирования биопленок у клинических изолятов *Escherichia coli*, однако характер этого влияния зависит как от природы антибактериального препарата, так и от его концентрации и сочетания с другими антимикробными агентами.

Выявленное усиление биопленкообразования под действием энрофлоксацина согласуется с данными ряда исследователей, согласно которым субингибирующие концентрации антибиотиков способны индуцировать стресс-ответ бактериальной клетки и стимулировать формирование биопленочных сообществ. Установлено, что воздействие субингибирующих концентраций антибактериальных препаратов может приводить к увеличению биомассы биопленки более чем на 50% у клинических изолятов различных микроорганизмов [13]. Такой эффект рассматривается как адаптивная реакция, позволяющая бактериям повышать устойчивость к антимикробному воздействию.

Наблюдаемый эффект может быть связан с активацией SOS-ответа, который индуцируется фторхинолонами в ответ на повреждения ДНК. В ряде работ показано, что фторхинолоны запускают SOS-зависимые процессы, приводящие к изменению регуляции клеточных функций и формированию более устойчивых фенотипов [14, 15]. Активация SOS-ответа сопровождается усилением мутагенеза, изменением экспрессии генов адгезии и компонентов внеклеточного матрикса, что может способствовать увеличению плотности и структурной сложности биопленки.

В противоположность этому, левофлоксацин в исследуемых условиях демонстрировал преимущественно ингибирующее действие на биопленкообразование, что также согласуется с литературными данными. Установлено, что фторхинолоны оказывают дозозависимое влияние на формирование биопленок. В концентрациях, близких к половине минимальной подавляющей концентрации, наблюдается выраженное подавление их образования, тогда как при более низких концентрациях этот эффект ослабевает и может сменяться стимулирующим [16, 17].

Отмечается различие в действии левофлоксацина на референтный штамм и клинические

изоляты *Escherichia coli*. В модельной системе с использованием штамма *E. coli* JW5503 (Δ tolC) наблюдалось увеличение биопленкообразования под действием левофлоксацина, тогда как у клинических изолятов данный препарат демонстрировал преимущественно ингибирующее действие. Это связано с особенностями генетической конструкции референтного штамма, характеризующегося нарушением работы эффлюксной системы TolC, что приводит к накоплению антибиотика внутри клетки и усиленной индукции SOS-ответа. Активация SOS-ответа сопровождается изменением экспрессии генов, участвующих в адгезии и формировании внеклеточного матрикса, что может приводить к усилению биопленкообразования [18].

Наиболее выраженные изменения наблюдали при сочетанном воздействии энрофлоксацина и левофлоксацина, при котором регистрировали максимальное увеличение биомассы биопленки. Данный эффект может быть обусловлен усилением стрессового воздействия на бактериальную клетку и более выраженной активацией защитных механизмов [19, 20]. В условиях комбинированного воздействия эти процессы могут усиливаться, что приводит к формированию более устойчивых и структурно организованных биопленочных сообществ.

Выводы/Conclusion

Референтный штамм *Escherichia coli* JW5503 (Δ tolC) в контрольных условиях характеризовался низким уровнем биопленкообразования. Под действием энрофлоксацина и левофлоксацина наблюдалось его увеличение, что указывает на способность фторхинолонов в субингибирующих концентрациях стимулировать формирование биопленки в контролируемой системе. В то же время клинические изоляты исходно обладали более высоким биопленкообразующим потенциалом и демонстрировали иную реакцию на воздействие препаратов. Энрофлоксацин вызывал умеренное усиление биопленкообразования, тогда как левофлоксацин в большинстве случаев приводил к его снижению. Наиболее выраженные изменения наблюдали при сочетанном применении препаратов, при котором отмечалось максимальное увеличение биомассы биопленки. Полученные результаты показывают, что субингибирующие концентрации фторхинолонов могут оказывать разнонаправленное влияние на биопленкообразование *E. coli*, при этом их сочетанное воздействие сопровождается наиболее выраженной реакцией.

Полученные морфологические данные согласуются с количественными результатами и показывают, что субингибирующие концентрации антибиотиков приводят к изменению структуры биопленки. При сочетанном воздействии формируются более плотные и неоднородные структуры, что, вероятно, связано с появлением различных

функциональных субпопуляций клеток. Таким образом, результаты настоящего исследования подтверждают, что субингибирующие концентрации

фторхинолонов способны не только изменять количественные характеристики биопленки, но и влиять на ее структурную организацию.

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 и Омской области № 25-26-20048 <https://rscf.ru/project/25-26-20048/>

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation and the Omsk Region No. 25-26-20048 <https://rscf.ru/project/25-26-20048/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонеvский И.В., Плешакова В.И. Структурно-функциональные особенности бактериальных биопленок у сельскохозяйственных животных и объектов животноводческой инфраструктуры. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2023; (1): 74–83. https://doi.org/10.48136/2222-0364_2023_1_74
2. Павлова И.Б., Антонова А.Н., Ленченко Е.М. Исследование формирования биопленок патогенными бактериями. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2016; (2): 63–70. EDN WFBIDF
3. Плотноков Ф.В., Мовсесян Н.А., Лептева Т.Н., Торосян Т.А., Земко В.Ю., Ильин Е.А. Иммуниет и бактериальные биопленки: современное состояние вопроса (обзор литературы). *Вестник Витебского государственного медицинского университета*. 2021; 20(3): 7–15. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.3.7>
4. Dhaouadi S. *et al.* High Biofilm-Forming Ability and Clonal Dissemination among Colistin-Resistant *Escherichia coli* Isolates Recovered from Cows with Mastitis, Diarrheic Calves, and Chickens with Colibacillosis in Tunisia. *Life*. 2023; 13(2): 299. <https://doi.org/10.3390/life13020299>
5. Stanford K., Tran F., Zhang P., Yang X. Biofilm-Forming Capacity of *Escherichia coli* Isolated from Cattle and Beef Packing Plants: Relation to Virulence Attributes, Stage of Processing, Antimicrobial Interventions, and Heat Tolerance. *Applied and Environmental Microbiology*. 2021; 87(23): e01126-21. <https://doi.org/10.1128/AEM.01126-21>
6. Ушаков В.Ю. SOS-система репарации ДНК у бактерий (обзор). *Вестник Пермского университета. Серия Биология*. 2010; (2): 19–30. EDN OIOGQB
7. Dawan J., Ahn J. Bacterial Stress Responses as Potential Targets in Overcoming Antibiotic Resistance. *Microorganisms*. 2022; 10(7): 1385. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071385>
8. Kaushik V., Tiwari M., Tiwari V. Interaction of RecA mediated SOS response with bacterial persistence, biofilm formation, and host response. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022; 217: 931–943. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.176>
9. Recacha E. *et al.* Suppression of the SOS response modifies spatiotemporal evolution, post-antibiotic effect, bacterial fitness and biofilm formation in quinolone-resistant *Escherichia coli*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2019; 74(1): 66–73. <https://doi.org/10.1093/jac/dky407>
10. Gao P. *et al.* Subinhibitory Concentrations of Antibiotics Exacerbate Staphylococcal Infection by Inducing Bacterial Virulence. *Microbiology Spectrum*. 2022; 10(4): e00640-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00640-22>
11. Ismail A.S. *et al.* The tradeoffs between persistence and mutation rates at sub-inhibitory antibiotic concentrations in *Staphylococcus aureus*. *Microbiology Spectrum*. 2025; 13(4): e02479-24. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02479-24>
12. Stepanović S., Vuković D., Dakić I., Savić B., Švabić-Vlahović M. A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation. *Journal of Microbiological Methods*. 2000; 40(2): 175–179. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00122-6)
13. Bernardi S. *et al.* Subinhibitory Antibiotic Concentrations Enhance Biofilm Formation of Clinical *Enterococcus faecalis* Isolates. *Antibiotics*. 2021; 10(7): 874. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070874>
14. Teichmann L., Luitwieler S., Bengtsson-Palme J., ter Kuile B. Fluoroquinolone-specific resistance trajectories in *E. coli* and their dependence on the SOS-response. *BMC Microbiology*. 2025; 25: 37. <https://doi.org/10.1186/s12866-025-03771-5>
15. Teichmann L., Pasman R., Luitwieler S., Varriale C., Bengtsson-Palme J., Ter Kuile B. Adaptation of *Escherichia coli* to ciprofloxacin and enrofloxacin: Differential proteomics of the SOS response and RecA-independent mechanisms. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2025; 65(2): 107420. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2024.107420>
16. Balaji K., Thenmozhi R., Pandian S.K. Effect of subinhibitory concentrations of fluoroquinolones on biofilm production by clinical isolates of *Streptococcus pyogenes*. *The Indian Journal of Medical Research*. 2013; 137(5): 963–971.
17. Brothers K.M. *et al.* Dose optimization in surgical prophylaxis: sub-inhibitory dosing of vancomycin increases rates of biofilm formation and the rates of surgical site infection. *Scientific Reports*. 2023; 13: 4593. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30951-y>
18. Podlessek Z., Žgur Bertok D. The DNA Damage Inducible SOS Response Is a Key Player in the Generation of Bacterial Persister Cells and Population Wide Tolerance. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 1785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01785>
19. Ching C., Orubu E.S.F., Sutradhar I., Wirtz V.J., Boucher H.W., Zaman M.H. Bacterial antibiotic resistance development and mutagenesis following exposure to subinhibitory concentrations of fluoroquinolones *in vitro*: a systematic review of the literature. *JAC-Antimicrobial Resistance*. 2020; 2(3): dlaa068. <https://doi.org/10.1093/jacamr/dlaa068>
20. Bernier S.P. *et al.* Starvation, Together with the SOS Response, Mediates High Biofilm-Specific Tolerance to the Fluoroquinolone Ofloxacin. *PLOS Genetics*. 2013; 9(1): e1003144. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003144>

REFERENCES

1. Antonevskiy I.V., Pleshakova V.I. Structural and functional features of bacterial biofilms in farm animals and livestock infrastructure. *Vestnik of Omsk SAU*. 2023; (1): 74–83 (in Russian). https://doi.org/10.48136/2222-0364_2023_1_74
2. Pavlova I.B., Antonova A.N., Lenchenko E.M. Research of biofilm formation of pathogenic bacteria. *Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2016; (2): 63–70 (in Russian). EDN WFBIDF
3. Plotnikov P.V., Movsesyan N.A., Lepteeva T.N., Torosyan T.A., Ziamko V.Y., Ilyin E.A. Immunity and bacterial biofilms: current status of the matter (literature review). *Vestnik of Vitebsk State Medical University*. 2021; 20(3): 7–15 (in Russian). <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.3.7>
4. Dhaouadi S. *et al.* High Biofilm-Forming Ability and Clonal Dissemination among Colistin-Resistant *Escherichia coli* Isolates Recovered from Cows with Mastitis, Diarrheic Calves, and Chickens with Colibacillosis in Tunisia. *Life*. 2023; 13(2): 299. <https://doi.org/10.3390/life13020299>
5. Stanford K., Tran F., Zhang P., Yang X. Biofilm-Forming Capacity of *Escherichia coli* Isolated from Cattle and Beef Packing Plants: Relation to Virulence Attributes, Stage of Processing, Antimicrobial Interventions, and Heat Tolerance. *Applied and Environmental Microbiology*. 2021; 87(23): e01126-21. <https://doi.org/10.1128/AEM.01126-21>
6. Ushakov V.Yu. SOS-system of DNA repair in bacteria. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2010; (2): 19–30 (in Russian). EDN OIOGQB
7. Dawan J., Ahn J. Bacterial Stress Responses as Potential Targets in Overcoming Antibiotic Resistance. *Microorganisms*. 2022; 10(7): 1385. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071385>
8. Kaushik V., Tiwari M., Tiwari V. Interaction of RecA mediated SOS response with bacterial persistence, biofilm formation, and host response. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022; 217: 931–943. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.176>
9. Recacha E. *et al.* Suppression of the SOS response modifies spatiotemporal evolution, post-antibiotic effect, bacterial fitness and biofilm formation in quinolone-resistant *Escherichia coli*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2019; 74(1): 66–73. <https://doi.org/10.1093/jac/dky407>
10. Gao P. *et al.* Subinhibitory Concentrations of Antibiotics Exacerbate Staphylococcal Infection by Inducing Bacterial Virulence. *Microbiology Spectrum*. 2022; 10(4): e00640-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00640-22>
11. Ismail A.S. *et al.* The tradeoffs between persistence and mutation rates at sub-inhibitory antibiotic concentrations in *Staphylococcus aureus*. *Microbiology Spectrum*. 2025; 13(4): e02479-24. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02479-24>
12. Stepanović S., Vuković D., Dakić I., Savić B., Švabić-Vlahović M. A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation. *Journal of Microbiological Methods*. 2000; 40(2): 175–179. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00122-6)
13. Bernardi S. *et al.* Subinhibitory Antibiotic Concentrations Enhance Biofilm Formation of Clinical *Enterococcus faecalis* Isolates. *Antibiotics*. 2021; 10(7): 874. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070874>
14. Teichmann L., Luitwieler S., Bengtsson-Palme J., ter Kuile B. Fluoroquinolone-specific resistance trajectories in *E. coli* and their dependence on the SOS-response. *BMC Microbiology*. 2025; 25: 37. <https://doi.org/10.1186/s12866-025-03771-5>
15. Teichmann L., Pasman R., Luitwieler S., Varriale C., Bengtsson-Palme J., Ter Kuile B. Adaptation of *Escherichia coli* to ciprofloxacin and enrofloxacin: Differential proteomics of the SOS response and RecA-independent mechanisms. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2025; 65(2): 107420. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2024.107420>
16. Balaji K., Thenmozhi R., Pandian S.K. Effect of subinhibitory concentrations of fluoroquinolones on biofilm production by clinical isolates of *Streptococcus pyogenes*. *The Indian Journal of Medical Research*. 2013; 137(5): 963–971.
17. Brothers K.M. *et al.* Dose optimization in surgical prophylaxis: sub-inhibitory dosing of vancomycin increases rates of biofilm formation and the rates of surgical site infection. *Scientific Reports*. 2023; 13: 4593. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30951-y>
18. Podlessek Z., Žgur Bertok D. The DNA Damage Inducible SOS Response Is a Key Player in the Generation of Bacterial Persister Cells and Population Wide Tolerance. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 1785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01785>
19. Ching C., Orubu E.S.F., Sutradhar I., Wirtz V.J., Boucher H.W., Zaman M.H. Bacterial antibiotic resistance development and mutagenesis following exposure to subinhibitory concentrations of fluoroquinolones *in vitro*: a systematic review of the literature. *JAC-Antimicrobial Resistance*. 2020; 2(3): dlaa068. <https://doi.org/10.1093/jacamr/dlaa068>
20. Bernier S.P. *et al.* Starvation, Together with the SOS Response, Mediates High Biofilm-Specific Tolerance to the Fluoroquinolone Ofloxacin. *PLOS Genetics*. 2013; 9(1): e1003144. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003144>

ОБ АВТОРАХ:**Игорь Викторович Антонеvский**

кандидат ветеринарных наук,
ассистент
iv.antonevskiy@omgau.org
<https://orcid.org/0009-0003-9337-2056>

Надежда Алексеевна Лещёва

кандидат ветеринарных наук,
доцент, заведующий
na.lescheva@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0001-6334-0422>

Валентина Ивановна Плешакова

доктор ветеринарных наук, профессор
vi.pleshakova@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0001-7896-2339>

Елизавета Вячеславовна Фрик

аспирант
ev.frik1921@omgau.org
<https://orcid.org/0009-0004-4281-2389>

Омский государственный аграрный университет
им. П.А. Столыпина,
пл. Институтская, 1, Омск, 644008, Россия

ABOUT THE AUTHORS:**Igor Viktorovich Antonevskiy**

Candidate of in Veterinary Sciences,
Assistant Department of Veterinary
iv.antonevskiy@omgau.org
<https://orcid.org/0009-0003-9337-2056>

Nadezhda Alekseevna Lescheva

Candidate of in Veterinary Sciences, Associate Professor,
Head of Department
na.lescheva@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0001-6334-0422>

Valentina Ivanovna Pleshakova

Doctor of Veterinary Sciences, Professor
vi.pleshakova@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0001-7896-2339>

Elizabeth Vyacheslavovna Frik

Postgraduate Student
ev.frik1921@omgau.org
<https://orcid.org/0009-0004-4281-2389>

Omsk State Agrarian University named
after P.A. Stolypin,
1 Institutskaya square, Omsk, 644008, Russia

О.В. Алейникова

А.П. Ермилова,

О.С. Митяшова

И.Ю. Лебедева ✉

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ имени
академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, Подольск, Россия

✉ irladv@mail.ru

Поступила в редакцию: 09.04.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Алейникова О.В., Ермилова А.П.,
Митяшова О.С., Лебедева И.Ю.

Липидные и стероидные профили крови у коров и телок голштинской породы при разном выходе эмбрионов после полиовуляторной стимуляции

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Изменчивость метаболического и гормонального статуса коров до и во время ранней стельности модулирует микросреду репродуктивных органов, что может влиять на жизнеспособность ооцитов и развивающихся эмбрионов при стимуляции одиночной или множественной овуляции.

Методы. Для изучения липидных и стероидных профилей крови в связи с выходом получаемых *in vivo* (IVD) эмбрионов были проанализированы 43 цикла стимуляции полиовуляции у 33 телок и 44 цикла у 26 коров. Взятие крови для анализа содержания гормонов и липидов проводили в 1-й день искусственного осеменения (ИО) и через 7 дней. Согласно морфологической оценке IVD эмбрионов все циклы были разделены на 3 типа: I — >5 пригодных для трансплантации морул и бластоцист (М+БЛ); II — 2–5 М+БЛ и III — 0–1 М+БЛ.

Результаты. У коров в циклах I типа на 7-й день после ИО содержание общего холестерина в крови было в 1,2 раза ниже, чем в циклах III типа, а концентрация прогестерона превышала таковую в циклах II и III типа (в 1,8 и 5,4 раза, соответственно). У телок в циклах I типа через неделю после ИО уровень прогестерона был в 2,1–2,2 раза выше, чем в циклах II и III типа, однако концентрация холестерина не различалась и была в 2,3–2,4 раза ниже, чем у коров. Таким образом, содержание холестерина более 6,7 ммоль/л в крови коров через неделю после осеменения могло негативно сказаться на качестве IVD эмбрионов.

Ключевые слова: коровы и телки голштинской породы, полиовуляторная стимуляция, получение эмбрионов *in vivo*, морулы и бластоцисты, холестерин, триглицериды, прогестерон, эстрадиол-17β

Для цитирования: Алейникова О.В., Ермилова А.П., Митяшова О.С., Лебедева И.Ю. Липидные и стероидные профили крови у коров и телок голштинской породы при разном выходе эмбрионов после полиовуляторной стимуляции. *Аграрная наука*. 2026; 411(10): 32–38.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-32-38>

Olga V. Aleynikova

Anna P. Yermilova

Olga S. Mityashova

Irina Yu. Lebedeva ✉

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Dubrovitsy, Podolsk
Russia.

✉ irladv@mail.ru

Received by the editorial office: 09.04.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Aleynikova O.V., Yermilova A.P.,
Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu.

Lipid and steroid blood profiles in Holstein cows and heifers at different embryo yields after polyovulatory stimulation

ABSTRACT

Relevance. Variability in the metabolic and hormonal status of cows before and during early pregnancy modulates the microenvironment of the reproductive organs, which may affect the viability of oocytes and developing embryos when stimulating single or multiple ovulation.

Methods. To study blood lipid and steroid profiles in relation to the yield of *in vivo* derived (IVD) embryos, 43 polyovulation stimulation cycles in 33 heifers and 44 cycles in 26 cows were analyzed. Blood collection for analysis of the hormone and lipid content was performed on the 1st day of artificial insemination (AI) and 7 days later. According to the morphological assessment of IVD embryos, all cycles were divided into 3 types: I — > 5 suitable for transplantation morulae and blastocysts (M+BL); II — 2–5 M+BL and III — 0–1 M+BL.

Results. In cows, in type I cycles, on the 7th day after AI, the total cholesterol content in the blood was 1.2 times lower than in type III cycles, and the progesterone concentration exceeded that in type II and III cycles (1.8 and 5.4 times, respectively). In heifers, in type I cycles, one week after AI, the progesterone level was 2.1–2.2 times higher than in type II and III cycles, but the cholesterol concentration did not differ and was 2.3–2.4 times lower than in cows. Thus, cholesterol levels exceeding 6.7 mmol/L in the blood of cows one week after insemination could negatively affect the quality of IVD embryos.

Key words: holstein cows, heifers, polyovulatory stimulation, *in vivo* derived embryos, morulae and blastocysts, cholesterol, triglycerides, progesterone, estradiol-17β

For citation: Aleynikova O.V., Yermilova A.P., Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu. Lipid and steroid blood profiles in Holstein cows and heifers at different embryo yields after polyovulatory stimulation. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 32–38 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-32-38>

Введение/Introduction

Высокие эмбриональные потери являются основной причиной низких показателей воспроизводства в современном молочном скотоводстве. Наибольшие потери наблюдаются у коров голштинской породы, у которых они составляют в среднем 35–45% в первый месяц беременности и около 12% — на более поздних стадиях [1]. Эмбриональная/фетальная смертность значительно увеличивает интервалы между отёлами, а также показатели выбраковки по причине низкой фертильности, тем самым повышая затраты на производство молока [2].

Установлено, что почти половина всех потерь стельности у крупного рогатого скота (КРС) приходится на первую неделю после осеменения, т.е. на предимплантационный период [3]. Поэтому особенно актуален вопрос об идентификации факторов, влияющих на начальные стадии эмбриогенеза, тогда как изменчивость таких факторов могла бы быть использована в качестве одного из критериев для ранней диагностики потери стельности. Рутинный метод искусственного осеменения (ИО) не позволяет отследить гибель эмбрионов в предимплантационный период. В то же время технология получения *in vivo* (IVD: *in vivo derived*) эмбрионов, в которой вымывание зародышей проводят на 7–8-й день после осеменения, обеспечивает удобную модель для изучения самых ранних стадий эмбриогенеза [4]. Показано, что качество и выход жизнеспособных IVD эмбрионов зависят от состояния метаболической и эндокринной систем в организме матери [5], поэтому оценка этого состояния необходима для понимания причин, приводящих к различным нарушениям в раннем развитии эмбрионов.

Как известно, ооцит играет ключевую роль в женской фертильности, продуцируя факторы, необходимые для предимплантационного эмбрионального развития. Вместе с тем для зачатия и последующего сохранения беременности также критически важно микроокружение, в котором развиваются ооциты, зиготы и ранние эмбрионы [6]. Это микроокружение зависит от гормонального и метаболического статуса матери, который у молочных коров после отёла подвергается метаболическому стрессу, связанному с отрицательным энергетическим балансом [7]. Изменение уровней метаболитов, особенно компонентов липидного обмена, в послеотельный период оказывает выраженный негативный эффект на состояние здоровья и воспроизводительную функцию крупного рогатого скота [8]. При этом нарушения обменных процессов у молочных коров могут влиять на состав жидкостей репродуктивного тракта, окружающих ооциты, зиготы и эмбрионы [9].

Метаболизм материнских липидов до и во время раннего эмбриогенеза оказывает глубокое воздействие на качество ооцитов и выживаемость эмбрионов, а также на их микроокружение,

определяя потенциал развития потомства, однако механизмы такого воздействия недостаточно изучены [10, 11]. Липиды, участвующие в метаболических процессах, хранятся в цитоплазматических липидных каплях почти всех живых клеток и состоят в основном из триглицеридов, служащих главным источником энергии для ооцитов и эмбрионов, и из эфиров холестерина [12]. До активации эмбрионального генома, которая происходит на стадии 8–16 клеток, развитие зародыша почти полностью зависит от эндогенных источников энергии, аккумулированных ооцитом [13]. Значительные изменения липидного профиля эмбриона, происходящие во время геномной активации, могут быть связаны с индукцией механизмов, регулирующих липидный обмен для подготовки к переходу на стадию морулы и бластоцисты [14].

Холестерин, помимо внутриклеточных депо, входит в состав плазматических мембран клеток, участвует в многочисленных сигнальных событиях, является предшественником стероидных гормонов, также, как и триглицериды, содержится в жидкости фолликулов и секрете яйцевода [14, 15]. Мембранный холестерин играет роль вторичного мессенджера при функционировании сигнального пути Hedgehog, который обеспечивает нормальное эмбриональное развитие [16]. В исследованиях *in vitro* было показано, что снижение содержания холестерина в эмбрионах уменьшает их способность к развитию до стадии бластоцисты [17].

После овуляции яйцеклетки оставшиеся фолликулярные клетки подвергаются терминальной дифференцировке с образованием желтого тела, клетки которого продуцируют стероидные гормоны, в первую очередь, прогестерон и эстрадиол-17 β , необходимые для сохранения беременности, особенно на ранних этапах [18, 19]. Для синтеза стероидных гормонов овариальные клетки используют экзогенный холестерин, попадающий через кровообращение в виде липопротеинов высокой плотности, и эндогенный холестерин, синтезируемый в яичнике *de novo*. Прогестерон (P4) влияет на качество яйцеклетки, состояние эндометрия, рост и удлинение бластоцисты, синтез интерферона- α , подавляющего регрессию ЖТ и элиминацию эмбриона [20]. Эстрогены стимулируют перистальтику яйцевода и его секреторную активность, синтез собственных и прогестероновых рецепторов в эндометрии, рецептивность эндометрия, а также изменяют экспрессию ряда генов в яйцеводе и матке, способствуя формированию оптимальной среды для гамет и эмбрионов [21].

Таким образом, липиды не только являются основным источником энергии для развития ооцитов и эмбрионов и субстратом для синтеза стероидных гормонов, поддерживающих установление и сохранение беременности, но также участвуют в переключении важных регуляторных путей, оказывая значительное влияние на предимплантационное эмбриональное развитие в репродуктивном тракте животного. Однако до сих пор нет

достаточной информации о взаимосвязи показателей липидного и стероидного профиля в первую неделю после осеменения и их ассоциации с качеством и потенциалом к развитию эмбрионов у КРС.

Важно отметить, что состояние обмена веществ и связанной с ним эндокринной системы у телок и коров кардинально отличается, поскольку организм последних подвергается послеродовому метаболическому стрессу [22]. Следовательно, одни и те же факторы могут по-разному влиять на результативность получения IVD эмбрионов у КРС в зависимости от возрастных особенностей, что подтверждается данными о разном характере действия тиреоидных гормонов на качество таких зародышей у голштинских коров и телок [4].

Цель настоящей работы состояла в изучении роли липидного обмена, сопряженного с овариальным стероидогенезом, в поддержании раннего развития эмбрионов у крупного рогатого скота в зависимости от наличия предшествующей стельности. В связи с этим был проведен сравнительный анализ содержания холестерина, триглицеридов, прогестерона и эстрадиола-17 β в крови коров и телок голштинской породы в первую неделю после осеменения при разном выходе IVD эмбрионов на стадии морулы и бластоцисты.

Материал и методы исследования / Material and methods

Экспериментальное исследование проводили на базе Волоколамского отделения АО «Московское» по племенной работе» в 2021–2023 гг. Объектом исследования служили коровы 1–2-й лактации и телки голштинской породы, которые находились в одинаковых условиях, включающих привязное содержание с ежедневным выгулом. Доеение коров было трехкратным, средний удой составлял около 12 тыс. кг молока за 305 дней лактации. Животные получали кормовой рацион в соответствии с возрастом согласно зоотехническим нормам¹. Упитанность во время осеменения составляла у телок от 3,5 до 4,0 баллов, а у коров — от 3,5 до 3,75 баллов. В исследовании были использованы только животные без гинекологических патологий.

Эксперименты с животными проводили согласно принципам ветеринарной медицинской этики². Протоколы исследований на КРС были одобрены комиссией по биоэтике ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (протокол № 2 от 18.01.2021).

Синхронизацию полового цикла, сопряженную с последующей гормональной стимуляцией полиовуляции, выполняли с 11-й недели после отела у коров и в возрасте от 12-ти до 18-ти месяцев у телок. Схема внутримышечного введения

и дозировка гормональных препаратов были детально описаны нами ранее [4] и соответствовали следующему протоколу: 1 и 11 день процедуры — 2 мл эстрофана («Биовета», Чехия), 24–27 дни — препарат Плюсет («Laboratorios Calier», Испания) через каждые 12 ч, снижая дозу с 4,0 мл до 0,5 мл, 26 день — 3 мл эстрофана, 28 день — 5 мл сурфактона («Мосагроген», Москва).

Всех животных осеменяли двукратно, на 28-й и 29-й дни от начала гормональной обработки, при использовании спермы быков с высокой фертильностью, ранее подтвержденной по результативности осеменения коров в Волоколамском отделении АО «Московское». Всего в исследование вошли 43 цикла стимуляции полиовуляции у 33 телок (1–2 цикла на телку) и 44 цикла у 26 коров (1–3 цикла на корову).

Через 7 дней после первого дня ИО нехирургическим методом проводили вымывание эмбрионов раствором Хэнкса («ПанЭко», Россия) с помощью силиконовых двухканальных катетеров «Minitube» (Тайвань). Подсчет и морфологическую оценку полученных объектов выполняли под стереомикроскопом SMZ 745 («Nikon», Япония) в среде для промывания и хранения эмбрионов («IMV Technologies», Франция). Для оценки качества и стадии развития эмбрионов использовали известные морфологические критерии (ГОСТ 28424-2014³), включающие наличие сферической формы, число и морфологию бластомеров, состояние зоны пеллюцида. Анализируемым показателем результативности получения IVD эмбрионов служил их общий выход на стадии поздней морулы (32–64 бластомера) или бластоцисты (> 64 бластомеров, наличие полости). Учитывались только эмбрионы, пригодные для трансплантации, т.е. отличного и хорошего или удовлетворительного качества (содержащие не менее 85% или 50% интактных клеток, соответственно).

Кровь на анализ отбирали из хвостовой вены в первый день ИО и через 7 дней (в день вымывания эмбрионов). Содержание общего холестерина и триглицеридов в сыворотке крови измеряли на автоматическом биохимическом анализаторе ERBA XL («ERBA Group», Чехия) ферментативным колориметрическим методом с помощью коммерческих наборов реагентов («ERBA Mannheim», Чехия). Концентрацию прогестерона и эстрадиола-17 β в сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) при использовании наборов реагентов компании «Хема» (Россия) и планшетного спектрофотометра Униплан («Пикон», Россия). Чувствительность метода составляла 0,025 нмоль/л для эстрадиола-17 β (E2) и 0,25 нмоль/л для прогестерона (P4). Все анализы выполняли в двух аналитических

¹ Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова и др. М.: Рос-сельхозакадемия, 2003, 456 с.

² The veterinarian-client-patient relationship (VCPR). <https://www.avma.org/resources-tools/pet-owners/yourvet/veterinarian-client-patient-relationship-vcpr>; Европейская конвенция по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123, Страсбург, 1986); Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ.

³ ГОСТ 28424-2014 Межгосударственный стандарт. Средства воспроизводства. Эмбрионы крупного рогатого скота. Технические условия.

повторностях, при этом коэффициент вариации не превышал 18 %.

Данные обрабатывали методом дисперсионного анализа с повторными измерениями при использовании пакета статистического программного обеспечения SigmaStat 4.0 (Systat Software, Inc.). В этих расчетах время относительно 1-го дня ИО было использовано в качестве фактора повторных измерений, а группы полиовуляторных циклов с разным выходом морул и бластоцист — в качестве межгруппового фактора. Результаты выражали как средние значения $\pm$ стандартные ошибки. Для статистической оценки различий между средними значениями применяли критерий Тьюки. В качестве минимального уровня значимости принимали $p < 0,05$; различия при $p < 0,1$ рассматривали как тенденцию. Анализ ассоциаций между различными показателями оценивали с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). Для оценки влияния различных факторов (возраст животного, число циклов стимуляции, тип цикла стимуляции, день после осеменения, взаимодействие факторов) на исследуемые показатели использовали модели со смешанными эффектами в R-Studio. Также был проведен ROC-анализ для оценки прогностической значимости липидных и гормональных уровней.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Согласно морфологической оценке IVD эмбрионов все циклы полиовуляторной стимуляции были разделены на 3 типа: I — с высоким выходом (> 5) морул и бластоцист (М+БЛ); II — со средним выходом (2–5) М+БЛ и III — с низким выходом (0–1) М+БЛ. Использование смешанных моделей для анализа данных подтвердило, что ни липидные, ни гормональные показатели состояния животного не зависели от числа циклов его гормональной стимуляции (от 1 до 3).

У коров из 44 циклов 11 были отнесены к I типу, 15 — ко II типу и 18 — к III типу. Молочная продуктивность за 305 дней лактации и содержание жира в молоке были сходными у животных с разной реакцией на полиовуляторную обработку и составляли, соответственно, 12267 ± 412 кг и $4,16 \pm 0,07\%$ для циклов I типа, 12030 ± 338 кг и $4,13 \pm 0,04\%$ для циклов II типа и 12276 ± 513 кг и $4,19 \pm 0,05\%$ для циклов III типа.

В день ИО не выявлено достоверных различий в уровне общего холестерина у коров с разным выходом морул и бластоцист, однако отмечена тенденция к его повышению (в 1,1 раза, $p < 0,1$) в циклах полиовуляторной стимуляции II типа по сравнению с циклами I типа (табл. 1). Через неделю после осеменения в случае высокого и среднего выхода морул и бластоцист наблюдался тренд к снижению концентрации холестерина в крови в 1,1 раза ($p < 0,1$) по сравнению с днем ИО, тогда как в случае низкого выхода таких эмбрионов эта концентрация не изменялась. При этом через 7

дней после ИО содержание общего холестерина в крови коров в циклах I типа было в 1,2 раза ниже ($p < 0,01$), чем в циклах III типа. В то же время выход морул и бластоцист не был связан с сывороточной концентрацией триглицеридов или с ее изменением ко дню вымывания эмбрионов.

Концентрация прогестерона в крови возрастала через неделю после ИО у всех коров ($p < 0,01$ – $0,001$), но это возрастание было наибольшим (в 40 раз) в циклах с высоким выходом морул и бластоцист и наименьшим (в 5,5 раз) — в циклах с низким выходом (табл. 1). Как следствие, на 7-й день данный гормональный показатель в циклах I типа превышал таковой в циклах II типа (в 1,8 раза, $p < 0,05$) и в циклах III типа (в 5,4 раза, $p < 0,001$), причем в последних уровень прогестерона был в 3 раза меньше ($p < 0,05$), чем в циклах II типа. Снижению концентрации прогестерона в крови у коров в циклах III типа сопутствовало сокращение числа желтых тел в 2,3–3,3 раза по сравнению с циклами I и II типа ($p < 0,01$ – $0,001$). Кроме того, в день ИО содержание эстрадиола-17 β в крови коров в циклах с высоким выходом эмбрионов было в 1,2 раза ниже ($p < 0,05$), чем в циклах со средним выходом, в которых выявлено его последующее снижение в 1,2 раза ($p < 0,01$) через 7 дней после ИО.

У телок в ходе анализа 43 циклов стимуляции полиовуляции было выявлено 7 циклов I типа, 18 циклов II типа и 18 циклов III типа.

Таблица 1. Концентрации липидов и половых стероидных гормонов в крови и формирование желтых тел у коров при разном выходе IVD эмбрионов на стадии морулы и бластоцисты (М+БЛ)

Table 1. Concentrations of lipids and sex steroid hormones in the blood and the formation of corpora lutea in cows at different yields of IVD embryos at the morula and blastocyst stages (M+BL)

Показатель	> 5 М + БЛ (I) n = 11	2–5 М + БЛ (II) n = 15	0–1 М + БЛ (III) n = 18
Общий холестерин, ммоль/л:			
день осеменения	6,49 $\pm$ 0,34 ^a	7,30 $\pm$ 0,24 ^b	6,96 $\pm$ 0,33
7 дней после осеменения	5,97 $\pm$ 0,19 ^{ac}	6,47 $\pm$ 0,39 ^a	7,16 $\pm$ 0,24 ^d
Триглицериды, ммоль/л:			
день осеменения	0,161 $\pm$ 0,013	0,166 $\pm$ 0,010	0,166 $\pm$ 0,009
7 дней после осеменения	0,155 $\pm$ 0,011	0,174 $\pm$ 0,013	0,157 $\pm$ 0,012
P4, нмоль/л:			
день осеменения	1,08 $\pm$ 0,13	1,04 $\pm$ 0,05	1,46 $\pm$ 0,23
7 дней после осеменения	43,44 $\pm$ 11,31 ^{***e}	24,82 $\pm$ 4,70 ^{***f}	8,01 $\pm$ 1,77 ^{**g}
E2, нмоль/л:			
день осеменения	0,358 $\pm$ 0,026 ^h	0,439 $\pm$ 0,025 ⁱ	0,514 $\pm$ 0,091
7 дней после осеменения	0,357 $\pm$ 0,022	0,370 $\pm$ 0,023 ^{**}	0,413 $\pm$ 0,039
Число желтых тел	8,73 $\pm$ 1,36 ^j	6,07 $\pm$ 0,71 ^k	2,61 $\pm$ 0,42 ^l

Примечание: различия между показателями в пределах одной группы — * $p < 0,1$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; различия между показателями в разных группах — ^{a,b} $p < 0,1$; ^{c,d} $p < 0,01$; ^{e,f} $p < 0,05$; ^{g,h} $p < 0,001$; ^{i,j} $p < 0,05$; ^{k,l} $p < 0,1$; ^{m,n} $p < 0,001$; ^{o,p} $p < 0,01$

Концентрация общего холестерина в крови телок снижалась в 1,05–1,16 раза ($p < 0,001-0,05$) в день вымывания эмбрионов, по сравнению с таковой в день ИО, независимо от выхода морул и бластоцист (табл. 2). Ни в день осеменения, ни через 1 неделю не было обнаружено существенных различий этого показателя между сравниваемыми группами циклов. При этом содержание холестерина в крови телок в течение недели после ИО было в 2,3–2,4 раза меньше ($p < 0,001$), чем в крови коров, что, очевидно, связано с особенностями липидного обмена после отела [22]. Напротив, концентрация триглицеридов в крови телок была в 1,2–1,3 раза выше ($p < 0,001-0,01$) по сравнению с коровами, поскольку у последних часть триглицеридов используется для синтеза молочного жира [23]. Тем не менее у телок, как и у коров, содержание триглицеридов в крови было одинаковым в циклах с разным выходом морул и бластоцист, и не изменялось в течение недели после ИО.

Повышение концентрации прогестерона через 1 неделю после ИО телок в циклах I и II типа было сходным с таковым у коров (табл. 2), тогда как в циклах III типа оно было более значительным (в 16 раз, а у коров — в 5,5 раза). При этом на 7-й день после осеменения уровень прогестерона в циклах с высоким выходом IVD эмбрионов был в 2,0–2,3 раза выше ($p < 0,01$), чем в циклах со средним и низким выходом, но не различался между

последними. Соответственно, число образованных желтых тел в циклах III типа было в 1,6 раза меньше ($p < 0,05$), чем в циклах I типа, и не отличалось от такового в циклах II типа. В то же время содержание эстрадиола-17 β в крови телок не зависело от выхода морул и бластоцист и не изменялось существенно в течение недели после ИО.

Использование смешанных моделей для анализа данных выявило, что взаимодействие между типом цикла стимуляции и днем после осеменения является значимым для уровня холестерина в крови ($p < 0,05$). Кроме того, динамика изменения содержания прогестерона в течение недели после осеменения была связана с его результативностью ($p < 0,001$).

Полученные данные показывают, что снижение концентрации общего холестерина в крови коров на 7-й день после осеменения в циклах I и II типа, было вызвано, по крайней мере частично, его использованием в качестве субстрата для резко возросшей продукции прогестерона [14]. Это предположение подтверждается наличием отрицательной корреляции, наблюдаемой между уровнями холестерина и прогестерона в циклах со средним выходом морул и бластоцист ($r = -0,380$, $p < 0,05$). В случае высокого выхода IVD эмбрионов сходная корреляция была менее существенной ($r = -0,246$, $p > 0,05$), что, вероятно, было обусловлено меньшим числом анализируемых циклов. В свою очередь, в циклах III типа, где содержание холестерина в крови не изменялось, увеличение секреции прогестерона было в 3–5 раз менее значительным.

ROC-анализ определил хорошую прогностическую ценность холестерина у коров на 7-й день после ИО (AUC: 0,781, оптимальный порог: 6,64 ммоль/л, чувствительность: 0,91, специфичность: 0,67). Кроме того, была установлена умеренная прогностическая значимость холестерина в день осеменения (AUC: 0,679, оптимальный порог: 6,99 ммоль/л, чувствительность: 0,73, специфичность: 0,66). Следовательно, хотя концентрация холестерина в крови голштинских коров не выходила за верхнюю границу референтного интервала (2,35–8,30 ммоль/л)⁴, ее значение, превышающее 6,64 ммоль/л через неделю после ИО и 6,99 ммоль/л в день осеменения, было ассоциировано с более низким выходом морул и бластоцист (< 5 М+БЛ). При этом у телок данный показатель не был связан с результативностью получения IVD эмбрионов, что объясняется его более низкими значениями, чем у коров (в 2,3–2,4 раза).

Несмотря на в целом положительную роль холестерина в поддержании воспроизводительной функции у млекопитающих, включая КРС [14, 15], некоторые аспекты его влияния на созревание ооцитов и предимплантационное развитие эмбрионов *in vivo* не совсем ясны. Данные исследования показали, что при определенных условиях

Таблица 2. Концентрации липидов и половых стероидных гормонов в крови и формирование желтых тел у телок при разном выходе IVD эмбрионов на стадии морулы и бластоцисты (М+БЛ)

Table 2. Concentrations of lipids and sex steroid hormones in the blood and the formation of corpora lutea in heifers at different yields of IVD embryos at the morula and blastocyst stages (M+BL)

Показатель	> 5 М+БЛ (I) n = 7	2–5 М+БЛ (II) n = 18	0–1 М+БЛ (III) n = 18
Общий холестерин, ммоль/л:			
день осеменения	3,04 ± 0,21	2,90 ± 0,10	2,99 ± 0,12
7 дней после осеменения	2,62 ± 0,24***	2,75 ± 0,08*	2,85 ± 0,12*
Триглицериды, ммоль/л:			
день осеменения	0,181 ± 0,021	0,217 ± 0,017	0,205 ± 0,015
7 дней после осеменения	0,210 ± 0,025	0,204 ± 0,013	0,192 ± 0,014
P4, нмоль/л:			
день осеменения	0,97 ± 0,36	1,09 ± 0,29	1,57 ± 0,41
7 дней после осеменения	57,89 ± 15,29***a	29,55 ± 5,15***b	25,21 ± 7,24***b
E2, нмоль/л:			
день осеменения	0,783 ± 0,297	0,521 ± 0,096	0,702 ± 0,163
7 дней после осеменения	0,653 ± 0,273	0,466 ± 0,067	0,549 ± 0,117
Число желтых тел	8,00 ± 1,33 ^c	5,94 ± 0,50	4,88 ± 0,51 ^d

Примечание: различия между показателями в пределах одной группы — * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; различия между показателями в разных группах — ^{a,b} $p < 0,01$; ^{c,d} $p < 0,05$

⁴ Гусев И.В. Контроль биохимического статуса свиней и коров: руководство / И.В. Гусев, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков, Г.Н. Левина // Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2017. — 40 с.

высокое содержание холестерина в крови может неблагоприятно влиять на оплодотворение яйцеклетки и/или ранний эмбриогенез. С этим выводом согласуется ряд данных других авторов. Так, с помощью метода прижизненного получения яйцеклеток коров недавно была выявлена отрицательная корреляция между концентрацией холестерина в крови животных и степенью созревания ооцитов, хотя более высокие значения этой концентрации были положительно ассоциированы с экспансией кумулюсных клеток [24]. Кроме того, была обнаружена отрицательная связь между содержанием общего холестерина в крови женщин во время процедуры аспирации ооцитов и дальнейшим качеством эмбрионов, полученных путем экстракорпорального оплодотворения [25].

Необходимо отметить, что пониженные уровни прогестерона в крови на 7-й день после ИО коров в циклах III типа (по сравнению с циклами I и II типа) могли бы быть еще одной причиной низкого выхода IVD эмбрионов. Эти уровни свидетельствуют о меньшем числе образовавшихся желтых тел и их более низкой функциональной активности. ROC-анализ для прогестерона у коров на 7-й день после ИО показал следующие результаты: AUC — 0,787, порог — 16,54 ммоль/л,

чувствительность — 0,85 и специфичность — 0,63. Тем не менее у телок в циклах II и III типа содержание прогестерона в крови было практически одинаковым, несмотря на разный выход морул и бластоцист. Следовательно, более низкая продукция прогестерона у коров в циклах III типа не могла служить единственным и решающим фактором низкой результативности получения IVD эмбрионов, но вносила вклад в поддержание высокой концентрации холестерина в крови.

Выводы/Conclusion

Таким образом, паттерн изменения уровня общего холестерина в первые семь дней предполагаемой гестации зависит от продукции прогестерона после полиовуляторной стимуляции и осеменения коров и телок. Содержание холестерина в крови, превышающее 7 ммоль/л в день ИО и 6,7 ммоль/л через 1 неделю, вероятно, является избыточным и негативно отражается на развитии IVD эмбрионов до стадии морулы и бластоцисты. Полученные результаты указывают на целесообразность дальнейших исследований, направленных на выяснение перспективности использования этого показателя для прогностической оценки результативности рутинного метода искусственного осеменения.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема FGGN-2024-0014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Gui L.-S. *et al.* Recent advances in early pregnancy loss diagnosis in dairy cows: New approaches. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(4): e14566. <https://doi.org/10.1111/rda.14566>
- Pursley J.R., Santos A., Minela T. Review: Initial increase in pregnancy-specific protein B in maternal circulation after artificial insemination is a key indicator of embryonic survival in dairy cows. *Animal*. 2023; 17(S1): 100746. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100746>
- Wiltbank M.C. *et al.* Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*. 2016; 86(1): 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
- Лебедева И.Ю., Алеиникова О.В., Ермилова А.П., Митяшова О.С. Уровни тиреоидных гормонов и прогестерона в крови голштинских коров и телок в связи с результативностью получения эмбрионов *in vivo*. *Достижения науки и техники АПК*. 2025; 39(12): 50–56. https://doi.org/10.53859/02352451_2025_39_12_50
- Ünay E. *et al.* Association between metabolic parameters and embryo production in superovulated dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(6): e14629. <https://doi.org/10.1111/rda.14629>
- Denicol A.C., Siqueira L.G.B. Maternal contributions to pregnancy success: from gamete quality to uterine environment. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230085. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0085>
- Song Y., Wang Z., Zhao C., Bai Y., Xia C., Xu C. Effect of negative energy balance on plasma metabolites, minerals, hormones, cytokines and ovarian follicular growth rate in Holstein dairy cows. *Journal of Veterinary Research*. 2021; 65(3): 361–368. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0035>
- Bezdiček J., Nesvadbová A., Ducháček J., Sekaninová J., Stádník L., Janků M. Changes in the oxidative - biochemical status in dairy cows during the transition period affecting reproductive and health parameters. *Czech Journal of Animal Science*. 2024; 69(9): 345–355. <https://doi.org/10.17221/128/2024-CJAS>
- Pascottini O.B., Leroy J.L.M.R., Opsomer G. Maladaptation to the transition period and consequences on fertility of dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022; 57(S4): 21–32. <https://doi.org/10.1111/rda.14176>
- Sudano M.J. *et al.* Lipidome signatures in early bovine embryo development. *Theriogenology*. 2016; 86(2): 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.025>
- Ye Q., Zeng X., Cai S., Qiao S., Zeng X. Mechanisms of lipid metabolism in uterine receptivity and embryo development. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2021; 32(12): 1015–1030. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2021.09.002>
- de Lima C.B., Barbosa G.Z., Ispada J., dos Santos E.C., Milazzotto M.P. Lipid availability during in vitro maturation alters oocyte lipid content and blastocyst development and metabolism. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023; 58(7): 920–928. <https://doi.org/10.1111/rda.14367>

FUNDING

The study was performed within the framework of a state assignment (topic FGGN-2024-0014).

REFERENCES

- Gui L.-S. *et al.* Recent advances in early pregnancy loss diagnosis in dairy cows: New approaches. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(4): e14566. <https://doi.org/10.1111/rda.14566>
- Pursley J.R., Santos A., Minela T. Review: Initial increase in pregnancy-specific protein B in maternal circulation after artificial insemination is a key indicator of embryonic survival in dairy cows. *Animal*. 2023; 17(S1): 100746. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100746>
- Wiltbank M.C. *et al.* Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*. 2016; 86(1): 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
- Lebedeva I.Yu., Aleinikova O.V., Ermilova A.P., Mityashova O.S. Thyroid hormone and progesterone levels in Holstein cows and heifers in relation to *in vivo* embryo production performance. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2025; 39(12): 50–56 (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2025_39_12_50
- Ünay E. *et al.* Association between metabolic parameters and embryo production in superovulated dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*. 2024; 59(6): e14629. <https://doi.org/10.1111/rda.14629>
- Denicol A.C., Siqueira L.G.B. Maternal contributions to pregnancy success: from gamete quality to uterine environment. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230085. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0085>
- Song Y., Wang Z., Zhao C., Bai Y., Xia C., Xu C. Effect of negative energy balance on plasma metabolites, minerals, hormones, cytokines and ovarian follicular growth rate in Holstein dairy cows. *Journal of Veterinary Research*. 2021; 65(3): 361–368. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0035>
- Bezdiček J., Nesvadbová A., Ducháček J., Sekaninová J., Stádník L., Janků M. Changes in the oxidative - biochemical status in dairy cows during the transition period affecting reproductive and health parameters. *Czech Journal of Animal Science*. 2024; 69(9): 345–355. <https://doi.org/10.17221/128/2024-CJAS>
- Pascottini O.B., Leroy J.L.M.R., Opsomer G. Maladaptation to the transition period and consequences on fertility of dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022; 57(S4): 21–32. <https://doi.org/10.1111/rda.14176>
- Sudano M.J. *et al.* Lipidome signatures in early bovine embryo development. *Theriogenology*. 2016; 86(2): 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.025>
- Ye Q., Zeng X., Cai S., Qiao S., Zeng X. Mechanisms of lipid metabolism in uterine receptivity and embryo development. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2021; 32(12): 1015–1030. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2021.09.002>
- de Lima C.B., Barbosa G.Z., Ispada J., dos Santos E.C., Milazzotto M.P. Lipid availability during in vitro maturation alters oocyte lipid content and blastocyst development and metabolism. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023; 58(7): 920–928. <https://doi.org/10.1111/rda.14367>

13. Hamdi M. *et al.* Gene expression and metabolic response of bovine oviduct epithelial cells to the early embryo. *Reproduction*. 2019; 158(1): 85–94. <https://doi.org/10.1530/REP-18-0561>
14. de Andrade Melo-Sterza F., Poehland R. Lipid Metabolism in Bovine Oocytes and Early Embryos under *In Vivo*, *In Vitro*, and Stress Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(7): 3421. <https://doi.org/10.3390/ijms22073421>
15. Banliat C. *et al.* Stage-dependent changes in oviductal phospholipid profiles throughout the estrous cycle in cattle. *Theriogenology*. 2019; 135: 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.011>
16. Radhakrishnan A., Rohatgi R., Siebold C. Cholesterol access in cellular membranes controls Hedgehog signaling. *Nature Chemical Biology*. 2020; 16(12): 1303–1313. <https://doi.org/10.1038/s41589-020-00678-2>
17. Moss J.L., Garrett T.J., Hansen P.J. Involvement of free cholesterol and high-density lipoprotein in development and resistance of the preimplantation bovine embryo to heat shock. *Journal of Animal Science*. 2012; 90(11): 3762–3769. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4717>
18. Binelli M. *et al.* Effectors and predictors of conceptus survival in cattle: What is next? *Domestic Animal Endocrinology*. 2025; 92: 106939. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2025.106939>
19. Митяшова О.С., Лебедева И.Ю. Стероидогенная активность яичников коров в зависимости от результативности искусственного осеменения и полиморфизма гена *DIO1*. *Аграрная наука*. 2025; (11): 48–53. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-48-53>
20. Lonergan P., Sánchez J.M. *Symposium review*: Progesterone effects on early embryo development in cattle. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(9): 8698–8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
21. Perry G.A., Ketchum J.N., Quail L.K. Importance of preovulatory estradiol on uterine receptivity and luteal function. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230061. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0061>
22. Roche J.R. *et al.* Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*. 2017; 30(1): 85–100. <https://doi.org/10.1071/RD17412>
23. Bernard L., Leroux C., Chilliard Y. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland. Bösze Z. (ed.). *Bioactive Components of Milk*. New York, NY: Springer. 2008; 67–108 https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_2
24. Toralová T. *et al.* The serum levels of triacylglycerols, nonesterified fatty acids, and beta-hydroxybutyrate as markers of reproductive capability of primiparous dairy cows. *Journal of Animal Science*. 2025; 103: skaf276. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf276>
25. Wang S., Wang J., Jiang Y., Jiang W. Association between blood lipid level and embryo quality during *in vitro* fertilization. *Medicine*. 2020; 99(13): e19665. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019665>
13. Hamdi M. *et al.* Gene expression and metabolic response of bovine oviduct epithelial cells to the early embryo. *Reproduction*. 2019; 158(1): 85–94. <https://doi.org/10.1530/REP-18-0561>
14. de Andrade Melo-Sterza F., Poehland R. Lipid Metabolism in Bovine Oocytes and Early Embryos under *In Vivo*, *In Vitro*, and Stress Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(7): 3421. <https://doi.org/10.3390/ijms22073421>
15. Banliat C. *et al.* Stage-dependent changes in oviductal phospholipid profiles throughout the estrous cycle in cattle. *Theriogenology*. 2019; 135: 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.011>
16. Radhakrishnan A., Rohatgi R., Siebold C. Cholesterol access in cellular membranes controls Hedgehog signaling. *Nature Chemical Biology*. 2020; 16(12): 1303–1313. <https://doi.org/10.1038/s41589-020-00678-2>
17. Moss J.L., Garrett T.J., Hansen P.J. Involvement of free cholesterol and high-density lipoprotein in development and resistance of the preimplantation bovine embryo to heat shock. *Journal of Animal Science*. 2012; 90(11): 3762–3769. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4717>
18. Binelli M. *et al.* Effectors and predictors of conceptus survival in cattle: What is next? *Domestic Animal Endocrinology*. 2025; 92: 106939. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2025.106939>
19. Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu. Steroidogenic activity of bovine ovaries depending on the effectiveness of artificial insemination and *DIO1* gene polymorphism. *Agrarian science*. 2025; (11): 48–53 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-48-53>
20. Lonergan P., Sánchez J.M. *Symposium review*: Progesterone effects on early embryo development in cattle. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(9): 8698–8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
21. Perry G.A., Ketchum J.N., Quail L.K. Importance of preovulatory estradiol on uterine receptivity and luteal function. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230061. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0061>
22. Roche J.R. *et al.* Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*. 2017; 30(1): 85–100. <https://doi.org/10.1071/RD17412>
23. Bernard L., Leroux C., Chilliard Y. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland. Bösze Z. (ed.). *Bioactive Components of Milk*. New York, NY: Springer. 2008; 67–108 https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_2
24. Toralová T. *et al.* The serum levels of triacylglycerols, nonesterified fatty acids, and beta-hydroxybutyrate as markers of reproductive capability of primiparous dairy cows. *Journal of Animal Science*. 2025; 103: skaf276. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf276>
25. Wang S., Wang J., Jiang Y., Jiang W. Association between blood lipid level and embryo quality during *in vitro* fertilization. *Medicine*. 2020; 99(13): e19665. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019665>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Викторовна Алейникова

кандидат биологических наук, научный сотрудник
68ovk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2583-0492>

Анна Петровна Ермилова

аспирант
anya0884@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6476-3757>

Ольга Сергеевна Митяшова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
mityashova_o@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Ирина Юрьевна Лебедева

доктор биологических наук, главный научный сотрудник
irledv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, д. 60, Подольск, Московская обл., 142132,
Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Victorovna Aleynikova

Candidate of Biological Sciences, Researcher
68ovk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2583-0492>

Anna Petrovna Yermilova

postgraduate student
anya0884@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6476-3757>

Olga Sergeevna Mityashova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
mityashova_o@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Irina Yuryevna Lebedeva

Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher
irledv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal
Husbandry,
60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region,
142132, Russia

УДК 631.223.6:636.022

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-39-52

М.А. Дерхо¹ ✉С.А. Гриценко¹П.В. Бурков¹М.Б. Ребезов²Б.Р. Чильчагов¹

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

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

✉ derkho2010@yandex.ru

Поступила в редакцию: 07.08.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Дерхо М.А., Гриценко С.А., Бурков П.В., Ребезов М.Б., Чильчагов Б.Р.

Характеристика гистологических и морфометрических свойств тощей кишки у цыплят-бройлеров мясных кроссов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Тощая кишка играет важную роль в переваривании и всасывании питательных веществ у цыплят-бройлеров; ее гистоморфометрические особенности варьируют в зависимости от возраста и принадлежности к кроссу. Изучение гистоархитектоники данного отдела кишечника представляет собой теоретическую базу для разработки кормовых программ, обеспечивающих реализацию генетического потенциала продуктивности птицы. Что и определяет актуальность исследований.

Методы. Объект исследования — цыплята-бройлеры кросса «Смена 9» и «Росс 308» в периоды промышленного выращивания. Материал исследования — тощая кишка 10-, 21- и 32-суточных цыплят, морфогенез которых оценен при помощи гистологических, морфометрических и статистических методов.

Результаты. Установлено, что у цыплят-бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308» тощая кишка в 10-, 21- и 32-суточном возрасте сохраняет анатомическую целостность и типичную гистоархитектонику (ворсинки и крипты, выстланные однослойным цилиндрическим эпителием с бокаловидными клетками; подслизистая основа из рыхлой соединительной ткани). Выявлены кросс-специфические особенности: у кросса «Росс 308» отмечено достоверно большее количество бокаловидных клеток (в 1,41–2,40 раза) и лимфоидных узелков (на 21 сутки) по сравнению с кроссом «Смена 9». Возраст является доминирующим фактором изменчивости большинства морфометрических параметров ($\eta^2 = 84,49\text{--}98,99\%$), при этом динамика показателей различается между кроссами: у «Смена 9» ряд параметров демонстрирует пик на 21 сутки с последующим снижением, у «Росс 308» — поступательный рост. Влияние фактора «кросс» на морфометрические показатели варьирует с возрастом и определяет формирование секреторного и криптального потенциала кишечной стенки. Полученные данные свидетельствуют о генетически обусловленных различиях в морфогенезе тощей кишки у кроссов «Смена 9» и «Росс 308» и могут быть использованы для оптимизации кормовых программ и повышения эффективности производства мяса бройлеров.

Ключевые слова: гистология, морфометрия, цыплята-бройлеры, тощая кишка, кросс, возраст

Для цитирования: Дерхо М.А., Гриценко С.А., Бурков П.В., Ребезов М.Б., Чильчагов Б.Р. Характеристика гистологических и морфометрических свойств тощей кишки у цыплят-бройлеров мясных кроссов. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 39–52. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-39-52>

Characteristics of the histological and morphometric properties of the jejunum in broiler chickens of meat crossbreeds

ABSTRACT

Relevance. The jejunum plays an important role in the digestion and absorption of nutrients in broiler chickens; its histomorphometric characteristics vary depending on age and the specific crossbreed. Studying the histoarchitectonics of this part of the intestine provides a theoretical basis for developing feeding programs that ensure the realization of the bird's genetic productivity potential. This determines the relevance of the research.

Methods. The object of the study is broiler chickens of the «Smena 9» and «Ross 308» crossbreeds during the periods of industrial rearing. The material of the study is the jejunum of 10-, 21-, and 32-day-old chicks, the morphogenesis of which was assessed using histological, morphometric, and statistical methods.

Results. It has been established that in broiler chickens of the «Smena 9» and «Ross 308» crossbreeds, the jejunum retains anatomical integrity and typical histoarchitecture at 10, 21, and 32 days of age (villi and crypts lined with a single-layer cylindrical epithelium containing goblet cells; the submucosal layer consists of loose connective tissue). Cross-specific features have been identified: the «Ross 308» cross showed a significantly higher number of goblet cells (1.41–2.40 times) and lymphoid nodules (on day 21) compared to the «Smena 9» cross. Age is the dominant factor in the variability of most morphometric parameters ($\eta^2 = 84.49\text{--}98.99\%$), while the dynamics of the indicators differ between the crosses: For «Smena 9», a number of parameters demonstrate a peak by day 21, followed by a decline; for «Ross 308», there is a steady growth. The influence of the «cross» factor on morphometric indicators varies with age and determines the formation of the secretory and cryptal potential of the intestinal wall. The data obtained indicate genetically determined differences in the morphogenesis of the jejunum in the «Smena 9» and «Ross 308» crossbreeds and can be used to optimize feeding programs and improve the efficiency of broiler meat production.

Key words: histology, morphometry, broiler chickens, small intestine, crossbreed, age

For citation: Derkho M.A., Gritsenko S.A., Burkov P.V., Rebezov M.B., Chilchagov B.R. Characteristics of the histological and morphometric properties of the jejunum in broiler chickens of meat crossbreeds. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 39–52 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-39-52>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-39-52

Marina A. Derkho¹ ✉Svetlana A. Gritsenko¹Pavel V. Burkov¹Maksim B. Rebezov²Bogdan R. Chilchagov¹

¹South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ derkho2010@yandex.ru

Received by the editorial office: 07.08.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Derkho M.A., Gritsenko S.A., Burkov P.V., Rebezov M.B., Chilchagov B.R.

Введение/Introduction

Интенсификация промышленного птицеводства и курс на импортозамещение в секторе мясного птицеводства обуславливают необходимость максимально полной реализации генетического потенциала продуктивности современных мясных кроссов бройлеров [1–4].

В этом контексте закономерности формирования морфофункциональных особенностей пищеварительной системы выступают биологической основой, определяющей интенсивность обменных процессов, эффективность конверсии корма и, как следствие, темпы прироста живой массы птиц [5–8].

Особую значимость данная проблематика приобретает применительно к отечественному кроссу «Смена 9», активно внедряемому на российских птицефабриках [9–13].

Для его эффективного использования требуется научно обоснованная оценка развития и адаптационных возможностей органов пищеварительной системы в ходе промышленного постнатального онтогенеза [14].

Одно из центральных мест в процессе переваривания и всасывания питательных веществ в организме цыплят-бройлеров играет тощая кишка, являясь одним из наиболее протяженных сегментов тонкой кишки [15]. Например, тощая кишка у бройлеров является основным местом поглощения глюкозы, переваривания и абсорбции липидов [15, 16]. Поэтому ее структурно-функциональное состояние напрямую определяет эффективность утилизации кормовых ресурсов и темпы роста птицы.

Гистологическая организация стенки тощей кишки (включающая слизистую оболочку, подслизистую основу, мышечную и серозную оболочки) и морфометрические характеристики (в частности, высота ворсинок, глубина крипт, толщина мышечного и подслизистого слоев, плотность бокаловидных клеток, площадь эпителия и др.) служат объективными морфологическими маркерами функциональной активности органа. При этом развитие и функциональное состояние тонкого кишечника подвержено значительному влиянию комплекса внешних факторов (состава рациона, применения кормовых добавок, технологических стрессоров), характерных для условий промышленного выращивания [17–19].

Современные гистоморфологические и морфометрические исследования позволяют не только оценить влияние указанных факторов на микроструктуру кишечника, но и выявить ранние признаки нарушений барьерной функции, воспалительных изменений и дисбаланса регенераторных процессов [19–23].

Формирование репрезентативной «нормативной базы» гистоархитектоники тощей кишки на разных этапах постнатального онтогенеза создает предпосылки для научно обоснованной коррекции технологических параметров содержания,

оптимизации схем кормления и совершенствования лечебно-профилактических мероприятий [8, 24–27].

Несмотря на значительный объем публикаций, посвященных морфологии кишечника бройлеров, в научной литературе практически отсутствуют сравнительные исследования, в которых сопоставляются гистологические и морфометрические особенности тощей кишки у кроссов «Смена 9» и «Росс 308» в условиях промышленного выращивания.

Выявление кросс-специфичных паттернов динамики гистоархитектоники (включая динамику роста ворсинок и толщины структурных слоев, изменение глубины крипт, плотность специализированных клеточных популяций) имеет существенное теоретическое и прикладное значение. Такие данные позволяют прогнозировать потенциал продуктивности кроссов, минимизировать риски, связанные с неравномерным развитием пищеварительного тракта, разрабатывать дифференцированные технологические решения, направленные на раскрытие генетических возможностей птицы.

Цель исследования — сравнительная характеристика гистологических и морфометрических свойств тощей кишки цыплят-бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308» на разных этапах промышленного постнатального онтогенеза.

Материал и методы исследования / Material and methods

Экспериментальная часть работы выполнена в 2026 году на одном из промышленных птицеводческих предприятий Челябинской области.

Для реализации цели исследования в одном из птичников птицефабрики были сформированы опытные группы из цыплят-бройлеры финальных гибридов кросса «Росс 308» и «Смена 9» (n300) с учетом клеточного содержания птицы и нормируемых технологических параметров выращивания (плотность посадки, фронт кормления и поения, температурно-влажностный режим).

Цикл выращивания бройлеров составлял 38 суток.

Для кормления цыплят-бройлеров использовались технологические комбикорма с учетом четырехфазового кормления, питательная ценность которых соответствовала кормовой программе предприятия.

В конце первых трех фаз кормления (в возрасте 10, 21 и 32 суток) случайным образом из каждой группы было отобрано по 10 голов для клинико-диагностического вскрытия, которое проводилось с соблюдением установленных биоэтических норм.

В ходе препарирования птицы проводился забор образцов для гистоморфометрических исследований — фрагменты тощей кишки из однотипных анатомических участков для обеспечения сопоставимости данных. Они сначала были промыты дистиллированной водой, затем 10%-ным раствором нейтрального формалина.

Из отобранных и промытых фрагментов тощей кишки были взяты образцы размером 1 см, которые были подвергнуты следующим основным операциям по подготовке к гистоморфометрическим исследованиям¹:

- фиксация в 10%-ном растворе нейтрального формалина (длительность 24 часа) и промывка в проточной воде для удаления избытка фиксирующего агента;
- поэтапное обезвоживание образцов тощей кишки в этиловом спирте с возрастающей концентрацией (70, 80 и 96%); пересушивание в смеси спирта и хлороформа (1:1) и в чистом хлороформе;
- уплотнение парафином с формированием парафиновых блоков;
- получение из парафиновых блоков серийных срезов толщиной 5-6 при помощи санного микротомы MC-2 (Россия);
- окрашивание серийных срезов при помощи основных красителей: гематоксилина и эозина.

При гистологическом исследовании срезов (увеличение $\times 50$, $\times 200$, $\times 400$) использовали микроскоп Leica DMRXA (Германия), цифровую цветную камеру Leica DFC 290 (Германия) и персональный компьютер.

Морфометрические измерения (толщина слизистой и мышечной оболочки, подслизистой основы, количество бокаловидных клеток, площадь крипты, площадь ворсинки, диаметр крипты, высота эпителия в криптах) проводили при помощи программного обеспечения ImageScope M (США), позволяющего выполнять калибровку по шкале, использовать инструменты измерения, экспортировать результаты. При этом под площадью крипты и площадью ворсинки понимали площадь поперечного сечения крипты и площадь поперечного сечения ворсинки.

В работе Колесник и др. был предложен комплексный подход к морфоденситометрической оценке клеточных структур, основанный на анализе морфометрических параметров с использованием цифровых систем обработки изображений, что позволяет повысить точность и воспроизводимость результатов гистологических исследований [28].

Результаты морфометрических исследований были представлены в виде среднего арифметического ($\bar{X}$), ошибки среднего ($\pm m$), коэффициента вариации (C_v), медианы (Me) и моды (Mo). Для межгрупповых сравнений (по возрастным группам и между кроссами) применяли t-критерий Стьюдента (t_d) с определением уровня статистической значимости ($*p \leq 0,05$; $**p \leq 0,01$; $***p \leq 0,001$). Для оценки силы влияния факторов (возраст, кросс) на изучаемые признаки рассчитывали корреляционное отношение (η) и факториальную дисперсию (η^2 , %). Визуализацию результатов осуществляли посредством построения графиков возрастной

динамики средних, медиан, мод и показателей вариабельности, а также столбчатых диаграмм, отражающих отклонения показателей кросса «Смена 9» от кросса «Росс 308».

Все первичные морфометрические и биометрические показатели были систематизированы в электронной таблице Microsoft Excel (версия Microsoft 365, США).

При интерпретации полученных результатов необходимо учитывать ряд ограничений:

- исследование проведено на двух конкретных кроссах («Смена 9» и «Росс 308») в условиях одного промышленного птицеводческого предприятия Челябинской области, что не позволяет экстраполировать выявленные закономерности на другие кроссы или иные технологические условия выращивания (напольное содержание, другие климатические зоны);
- исследование охватывает лишь ранний постнатальный период (10–32 суток), тогда как морфогенез кишечника продолжается и в более поздние сроки (до убоя в 38–42 суток); динамика гистоструктуры в завершающей фазе откорма остается неизученной;
- работа ограничена гистологическими и морфометрическими методами; для полного понимания функциональных различий между кроссами требуются дополнительные исследования с применением молекулярно-биологических подходов (оценка экспрессии генов, активности ферментов, профиля цитокинов) и электронной микроскопии;
- отсутствие параллельного анализа кишечного микробиома не позволяет оценить вклад микрофлоры в наблюдаемые кросс-специфические различия;
- исследование не учитывает влияние сезонных факторов и вариаций качества комбикормов, что также может модифицировать морфометрические параметры.

Указанные ограничения следует учитывать при планировании дальнейших исследований, направленных на разработку дифференцированных программ кормления и технологических регламентов для каждого кросса.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При клинико-диагностическом вскрытии цыплят-бройлеров в 10, 21 и 32-суточном возрасте установлено, что все сегменты тонкой кишки (двенадцатиперстная, тощая, подвздошная кишка) располагаются в брюшной полости анатомически корректно, сохраняют типичную форму, не имеют признаков вздутия и патологического растяжения. Серозная оболочка тощей кишки характеризовалась серо-белой окраской, выраженной влажностью и глянцевым блеском. Патологические наложения, спаечные изменения и

¹ Ролдугина Н.П., Никитченко В.Е., Яглов В.В. Практикум по цитологии, гистологии и эмбриологии. М.: Колос, 2004. 122 с.

геморрагические проявления на серозном покрове не выявлены. В просвете кишки присутствует химус кашицеобразной консистенции с кисловатым запахом. Слизистая оболочка имеет бледно-розовую окраску, гладкую поверхность, без дефектов эпителия и кровоизлияний; отмечается умеренное покрытие слизью. При макроскопическом сравнении тощей кишки цыплят бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308» межгрупповых различий не обнаружено.

Гистологическая структура тощей кишки претерпевала возрастные изменения у цыплят-бройлеров исследуемых кроссов.

В 10-суточном возрасте гистоархитектоника тощей кишки у цыплят кроссов «Смена 9» и «Росс 308» была однотипной. Слизистая оболочка сформировалась за счет ворсинок (рис. 1 А, Б) и крипт (рис. 1 В, Г), выстланных однослойным цилиндрическим эпителием.

В составе эпителиального пласта идентифицированы бокаловидные клетки, плотность которых в криптах превышала таковую в области ворсинок.

При визуальной оценке установлено, что у цыплят-бройлеров кросса «Росс 308» количество бокаловидных клеток было больше по сравнению с особями кросса «Смена 9». Подслизистая основа была представлена рыхлой соединительной тканью с умеренной клеточной плотностью и достаточным сосудистым компонентом.

К 21-суточному возрасту общая структурная организация тощей кишки сохраняла сходство с показателями 10-суточного возраста. Слизистая оболочка по-прежнему состояла из ворсинок (рис. 2 А, Б) и крипт, покрытых однослойным

цилиндрическим эпителием с включениями бокаловидных клеток. В собственной пластинке слизистой оболочки обнаружены узелки лимфоидной ткани (рис. 2 В, Г). Их количество у цыплят кросса «Росс 308» достоверно превышало аналогичный показатель у особей кросса «Смена 9».

Структура подслизистой основы оставалась неизменной: рыхлая соединительная ткань с умеренным содержанием клеточных элементов и кровеносных сосудов.

В 32-суточном возрасте строение тощей кишки у цыплят-бройлеров кроссов «Росс 308» и «Смена 9» по качественным показателям не отличалось от показателей, зарегистрированных в 21-суточном возрасте.

Слизистая оболочка сохраняла типичную организацию с наличием ворсинок (рис. 3, А, Б) и крипт, эпителиальный слой оставался однослойным цилиндрическим с включениями бокаловидных клеток. У цыплят кросса «Росс 308» вновь зафиксировано значимое превышение количества бокаловидных клеток в сопоставимых анатомических участках, по сравнению с кроссом «Смена 9». Подслизистая основа по-прежнему была сформирована рыхлой соединительной тканью с умеренной плотностью клеточного состава и сосудистой сети.

Таким образом, анализ проведенного гистологического исследования тощей кишки цыплят-бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308» в динамике постнатального онтогенеза (10, 21 и 32 сутки) позволил выявить как общие закономерности возрастного морфогенеза органа, так и кросс-специфические особенности его структурной организации.

Рис. 1. Гистологическая картина тощей кишки у бройлеров в 10-суточном возрасте: А, Б — крипты, ув. х 400; В, Г — ворсинки, ув. х 400. Стрелками отмечены бокаловидные клетки. Окраска: гематокислин-эозин

Fig. 1. Histological appearance of the jejunum in 10-day-old broilers: А, Б — crypts, 400× magnification; В, Г — villi, 400× magnification. Arrows indicate goblet cells. Staining: hematoxylin and eosin.

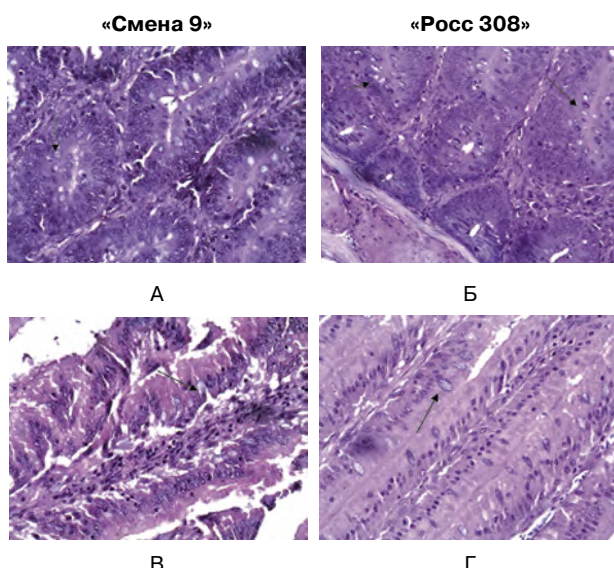


Рис. 2. Гистологическая картина тощей кишки у бройлеров в 21-суточном возрасте: А, Б — ворсинки слизистой оболочки тощей кишки, ув.х50; В, Г — узелки лимфоидной ткани (стрелки) в собственной пластинке слизистой, ув. х 200. Окраска: гематокислин-эозин

Fig. 2. Histological picture of the jejunum in broilers at 21 days of age: А, Б — villi of the mucous membrane of the jejunum, ×50; В, Г — nodules of lymphoid tissue (arrows) in the lamina propria of the mucosa, ×200. Staining: hematoxylin-eosin

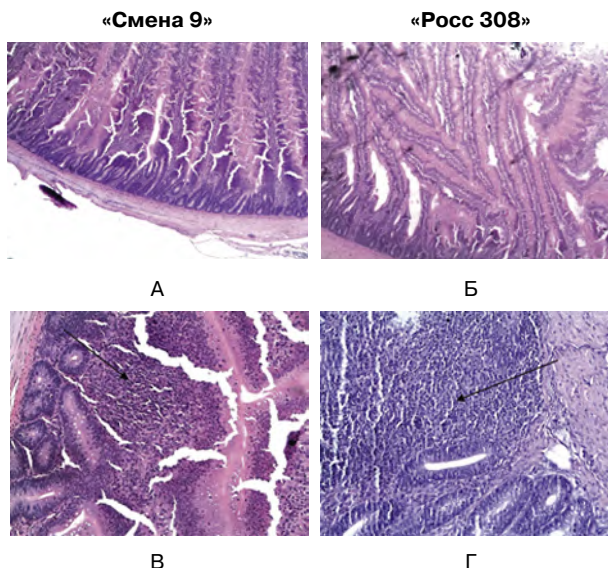
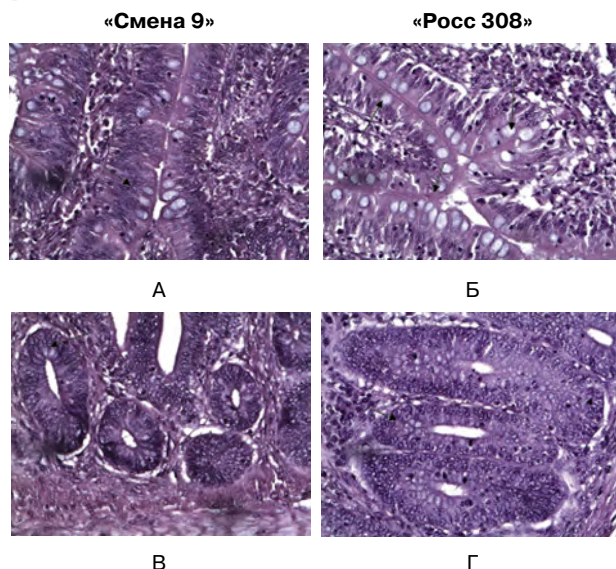


Рис. 3. Гистологическая картина тощей кишки бройлеров в 32-суточном возрасте: А, Б — бокаловидные клетки (стрелки) в ворсинках слизистой оболочки тонкой кишки, ув. х 400; В, Г — бокаловидные клетки (стрелки) в криптах слизистой оболочки тонкой кишки, ув. х 400. Окраска: гематоксин-эозин.

Fig. 3. Histological picture of the jejunum of broilers at 32 days of age: А, Б — goblet cells (arrows) in the villi of the mucous membrane of the small intestine, х400; В, Г — goblet cells (arrows) in the crypts of the mucous membrane of the small intestine, х400. Staining: hematoxylin-eosin.



Во-первых, сохранялась типичная гистоархитектоника тощей кишки, не зависящая от возраста: слизистая оболочка была представлена ворсинками и криптами, выстланными однослойным цилиндрическим эпителием с включениями бокаловидных клеток; подслизистая основа — рыхлой соединительной тканью с умеренной клеточной плотностью и достаточным сосудистым компонентом.

Во-вторых, у цыплят кросса «Росс 308» в исследуемый период отмечалось значимо большее количество бокаловидных клеток в сопоставимых анатомических участках по сравнению с кроссом «Смена 9»; у особей кросса «Росс 308» выявлено достоверно более высокое количество узелков лимфоидной ткани в собственной пластинке слизистой оболочки в 21-суточном возрасте, что может свидетельствовать о различиях в формировании локального иммунного ответа.

Процесс формирования структуры стенки тощей кишки цыплят протекал на фоне прироста живой массы, динамика которой у кросса «Смена 9» происходила с 315,60 г в 10-суточном возрасте до 2015,30 г к 32 суткам, у кросса «Росс 308» с 312,80 до 2072,20 г соответственно.

Закономерности линейного роста и формирования индексов телосложения у молодняка мясной птицы в зависимости от живой массы в суточном возрасте были ранее изучены Гриценко и др., которые показали, что динамика промеров тела и индексов телосложения тесно коррелирует с живой массой птицы в раннем постнатальном онтогенезе, что согласуется с выявленными в настоящем исследовании кросс-специфическими особенностями

возрастной динамики морфометрических показателей тощей кишки [29].

При этом на каждом этапе онтогенеза отмечался высоко достоверный прирост живой массы ($p \leq 0,001$) (табл. 1).

На фоновом этапе (на 10 сутки) при сопоставимой массе тела у цыплят-бройлеров кросса «Росс 308» выявлены значимые морфологические преимущества в развитии тощей кишки по сравнению с кроссом «Смена 9».

Так, у кросса «Росс 308» отмечалось более интенсивное формирование секреторного и структурного компонентов слизистой оболочки: количество бокаловидных клеток было выше в 1,93 раза, свидетельствуя о более раннем развитии защитной и секреторной функции кишечника; площадь крипт превышала аналогичный показатель у «Смена 9» в 1,78 раза, по диаметру крипт — в 1,39 раза и высоте эпителия в криптах — в 1,40 раза (табл. 1).

С возрастом морфометрические показатели стенки тощей кишки увеличивались у обоих кроссов, однако характер динамики различался. У ряда параметров наблюдался поступательный рост, тогда как другие демонстрировали волнообразную изменчивость с экстремумами в 21-суточном возрасте.

У кросса «Смена 9» линейный возрастной рост был характерен для следующих показателей: толщина подслизистой основы и мышечной оболочки, количества бокаловидных клеток, площади крипт и площади ворсинок. К 32-суточному возрасту данные параметры увеличивались в 1,23–5,27 раза по сравнению с фоновыми значениями.

В то же время толщина слизистой оболочки, диаметр крипт и высота эпителия в криптах достигали пиковых значений в 21-суточном возрасте, составляя $2749,70 \pm 59,40$; $63,28 \pm 3,36$ и $23,96 \pm 1,09$ мкм соответственно ($p \leq 0,001$). К 32 суткам наблюдалось снижение этих показателей относительно 21-суточного возраста в 1,06–2,15 раза. Наиболее выраженные изменения отмечены для толщины слизистой оболочки (снижение в 2,15 раза), что позволяет предположить развитие инволютивных процессов после фазы интенсивного формирования ворсинчатого слоя или перераспределение ресурсов организма в пользу наращивания мышечной массы и иных продуктивных тканей.

У кросса «Росс 308» поступательная динамика прослеживалась для толщины слизистой оболочки и подслизистой основы, количества бокаловидных клеток и площади ворсинок: к 32-суткам значения выросли в 1,72–5,61 раза по сравнению с исходными данными (табл. 1).

Экстремумы фиксировались в 21-суточном возрасте у следующих параметров: максимальные — у толщины мышечной оболочки ($408,20 \pm 19,75$ мкм) и площади крипт ($6824,59 \pm 45,57$ мкм²); минимальные — у диаметра крипт ($62,12 \pm 2,80$ мкм) и высоты эпителия в криптах ($21,39 \pm 1,89$ мкм).

Таблица 1. Возрастная динамика морфометрических показателей тощей кишки, n = 10, X ± mx

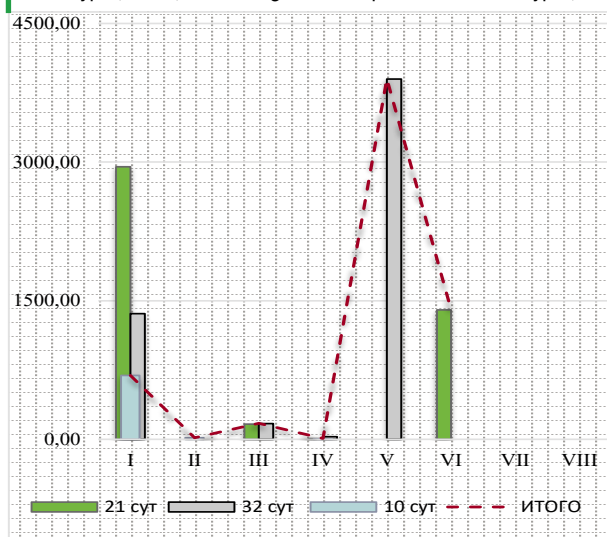
Table 1. Age-related dynamics of morphometric parameters of the jejunum, n = 10, X ± mx

Признак	Возраст ¹			
	10 сут	21 сут	32 сут	В среднем за период исследований
Кросс «Смена 9»				
Живая масса, г	315,60 ± 9,59	1024,30 ± 44,92***	2015,30 ± 74,83***	1118,40 ± 132,49
Толщина слизистой оболочки, мкм	680,50 ± 15,69	2749,70 ± 59,40***	1276,00 ± 31,17***	1568,73 ± 163,02***
Толщина подслизистой основы, мкм	14,65 ± 1,56	22,82 ± 2,56**	35,19 ± 2,58***	24,22 ± 2,02***
Толщина мышечной оболочки, мкм	163,30 ± 4,77	157,30 ± 7,39	201,00 ± 11,77**	173,87 ± 5,94
Количество бокаловидных клеток в 1 мм ² среза	5,50 ± 0,34	10,00 ± 0,37***	29,00 ± 0,94***	14,83 ± 1,92***
Площадь крипт, мкм ²	1398,86 ± 57,26	1392,44 ± 25,25	4049,93 ± 37,89***	2280,41 ± 233,54***
Площадь ворсинки, мкм ²	421,97 ± 27,98	1419,26 ± 20,18***	1513,54 ± 52,07***	1118,26 ± 93,88***
Диаметр крипт, мкм	51,81 ± 2,19	63,28 ± 3,36**	57,38 ± 1,60*	57,49 ± 1,64*
Высота эпителия в криптах, мкм	18,68 ± 0,95	23,96 ± 1,09***	22,56 ± 0,74***	21,73 ± 0,67**
Кросс «Росс 308»				
Живая масса, г	312,80 ± 4,01	1026,40 ± 25,97***	2072,20 ± 63,79***	1137,13 ± 135,98***
Толщина слизистой оболочки, мкм	696,50 ± 18,38	1163,00 ± 31,90***	1196,00 ± 33,70***	1018,50 ± 45,30***
Толщина подслизистой основы, мкм	13,06 ± 0,90	39,03 ± 4,92***	73,27 ± 3,49***	41,79 ± 4,98***
Толщина мышечной оболочки, мкм	176,30 ± 2,24	408,20 ± 19,75***	365,30 ± 4,91***	316,60 ± 19,83***
Количество бокаловидных клеток в 1 мм ² среза	10,60 ± 0,37	24,00 ± 0,39***	41,00 ± 1,30***	25,20 ± 2,35***
Площадь крипт, мкм ²	2493,38 ± 160,15	6824,59 ± 45,57***	5115,54 ± 80,05***	4811,17 ± 336,07***
Площадь ворсинки, мкм ²	424,67 ± 21,74	1389,89 ± 20,21***	1628,86 ± 29,98***	1147,81 ± 97,61***
Диаметр крипт, мкм	71,84 ± 3,98	62,12 ± 2,80	84,00 ± 4,52*	72,65 ± 2,71
Высота эпителия в криптах, мкм	26,14 ± 1,71	21,39 ± 1,89	33,28 ± 1,06***	26,94 ± 1,27

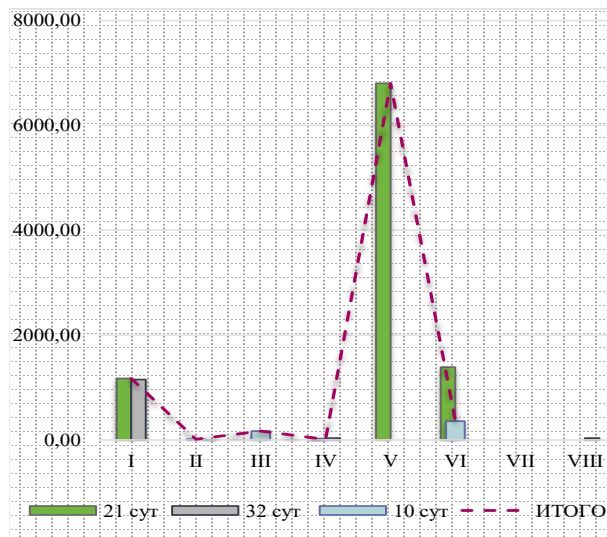
Примечание: при расчете критерия Стьюдента (td) для оценки возрастных изменений внутри каждого кросса за контрольную (референтную) группу принята 1-я группа — цыплята в возрасте 10 суток, как отражающая исходный уровень морфометрических показателей в начале раннего постнатального онтогенеза; * — значение достоверности при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

Рис. 4. Возрастная динамика модальных значений морфометрических показателей тощей кишки у цыплят-бройлеров кросса: 1) «Смена 9»; 2) «Росс 308». I — толщина слизистой оболочки, мкм; II — толщина подслизистой основы, мкм; III — толщина мышечной оболочки, мкм; IV — количество бокаловидных клеток в 1 мм² среза; V — площадь крипты, мкм²; VI — площадь ворсинки, мкм²; VII — диаметр крипт, мкм; VIII — высота эпителия в криптах, мкм

Fig. 4. Age-related dynamics of modal values of morphometric indicators of the jejunum in broiler chickens of the cross: 1) "Smena 9"; 2) "Ross 308". I — thickness of the mucous membrane, mcm; II — thickness of the submucosal layer, mcm; III — thickness of the muscular layer, mcm; IV — number of goblet cells per 1 mm² section; V — area of the crypt, mcm²; VI — area of the villus, mcm²; VII — diameter of the crypts, mcm; VIII — height of the epithelium in the crypts, mcm



1)



2)

Изменчивость морфометрических параметров относительно 10-сутиочного возраста варьировала в диапазоне 1,15–2,32 раза. При этом наиболее выраженные сдвиги отмечены для толщины мышечной оболочки.

Модальные значения морфометрических показателей тощей кишки у кроссов «Смена 9» и

«Росс 308» не были выявлены у 58,33% анализируемых параметров. Это свидетельствует о равномерном характере распределения изучаемых значений и отсутствии доминирующих величин в выборке (рис. 4).

Наибольшее число случаев отсутствия модальных значений отмечено у кросса «Смена 9»

в 10-суточном возрасте, тогда как у кросса «Росс 308» подобная картина наблюдалась в 32-суточном возрасте.

Кроме того, установлено, что моды большинства морфометрических показателей стенки тощей кишки не совпадали со средними арифметическими значениями, что указывает на асимметрию распределения данных и подчеркивает необходимость использования комплекса статистических показателей для адекватной характеристики морфологических параметров.

У исследованных кроссов наблюдалась выраженная вариабельность морфометрических характеристик стенки тощей кишки, зависящая от возраста и принадлежности к кроссу.

Медианные значения морфометрических показателей стенки тощей кишки практически полностью совпадали со средними арифметическими значениями у кроссов «Смена 9» и «Росс 308» (рис. 5).

Это свидетельствует о том, что распределение значений было близким к нормальному. Следовательно, в исследовании кроссов «Смена 9» и «Росс 308» однородность морфометрических показателей стенки тощей кишки (вероятно, из-за схожих условий выращивания и генетической однородности внутри каждого кросса) привела к тому, что распределения получились достаточно симметричными, и медианы хорошо отразили центральную тенденцию, совпав со средними арифметическими значениями.

Таким образом, анализ модальных и медианных значений морфометрических показателей стенки тощей кишки позволил установить, что

значимым фактором в их вариабельности является возраст птицы и принадлежность к конкретному кроссу.

Для подтверждения данного вывода была проведена оценка динамики относительных отклонений (в процентах) морфометрических показателей стенки тощей кишки кросса «Смена 9» по сравнению с кроссом «Росс 308» (рис. 6). Результаты анализа показали, что в исследованные возрастные периоды большинство морфометрических признаков у представителей отечественного кросса характеризовались отрицательными значениями отклонений, что подтверждает наличие значимых межкроссовых различий.

В возрасте 10 суток отрицательные отклонения варьировали в диапазоне 0,64-48,11% (рис. 6). Наиболее выраженные различия отмечались по таким параметрам, как количество бокаловидных клеток в 1 мм² среза (-48,11%), и площадь крипт (-43,90%). Единственным исключением являлся показатель толщины подслизистой основы, у цыплят кросса «Смена 9» он превышал аналогичный параметр кросса «Росс 308» на 12,17%.

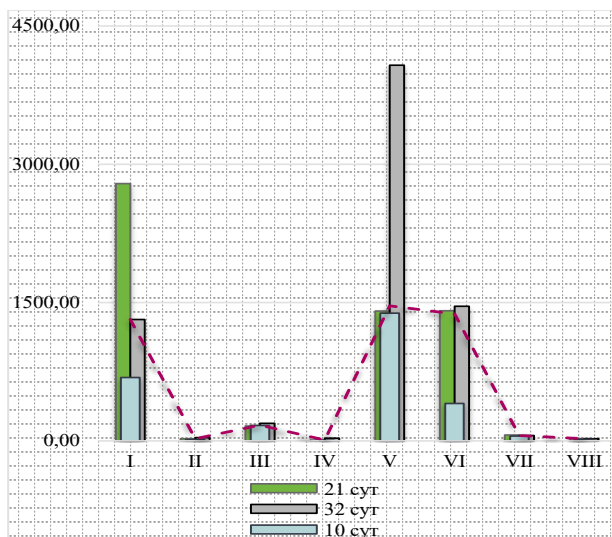
К 21 суткам отрицательные отклонения показателей кросса «Смена 9» относительно кросса «Росс 308» составили 41,53-79,60%, были характерны для толщины подслизистой основы и мышечной оболочки, количества бокаловидных клеток и площади крипт (рис. 6).

При этом зафиксировано выраженное положительное отклонение по толщине слизистой оболочки, которое достигло 136,43%.

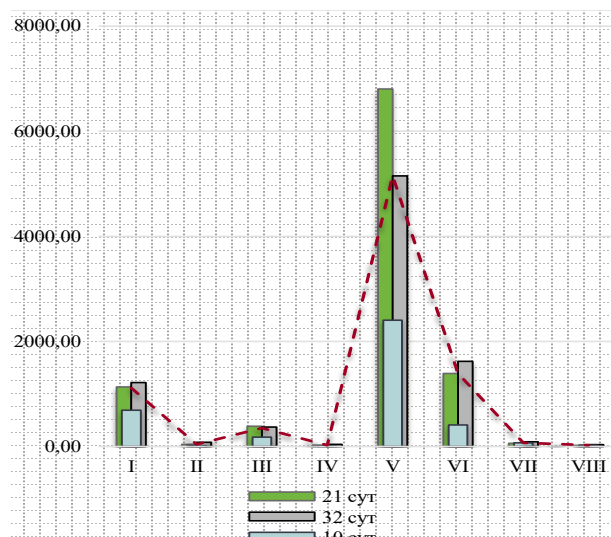
К 32-суточному возрасту межкроссовые различия в виде отрицательных отклонений сохранялись

Рис. 5. Возрастная динамика медианных значений морфометрических показателей тощей кишки у цыплят-бройлеров кросса: 1) «Смена 9»; 2) «Росс 308». I — толщина слизистой оболочки, мкм; II — толщина подслизистой основы, мкм; III — толщина мышечной оболочки, мкм; IV — количество бокаловидных клеток в 1 мм² среза; V — площадь крипты, мкм²; VI — площадь ворсинки, мкм²; VII — диаметр крипт, мкм; VIII — высота эпителия в криптах, мкм

Fig. 5. Age-related dynamics of the median values of morphometric indicators of the jejunum in broiler chickens of a cross: 1) "Smena 9"; 2) "Ross 308". I — thickness of the mucous membrane, mcm; II — thickness of the submucosal layer, mcm; III — thickness of the muscular layer, mcm; IV — number of goblet cells per 1 mm² section; V — area of the crypt, mcm²; VI — area of the villus, mcm²; VII — diameter of the crypts, mcm; VIII — height of the epithelium in the crypts, mcm



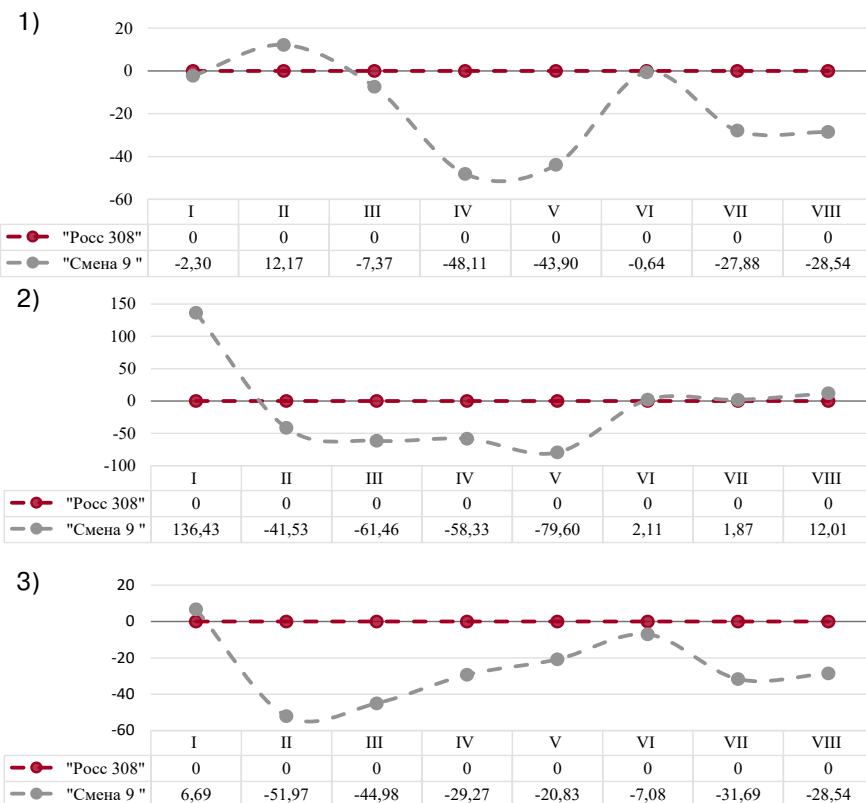
1)



2)

Рис. 6. Динамика относительных отклонений показателей морфометрии тощей кишки «Смена 9» от кросса «Росс 308», %: 1) в 10-суточном возрасте; 2) в 21-суточном возрасте; 3) в 32-суточном возрасте. I — толщина слизистой оболочки, мкм; II — толщина подслизистой основы, мкм; III — толщина мышечной оболочки, мкм; IV — количество бокаловидных клеток в 1 мм² среза; V — площадь крипты, мкм²; VI — площадь ворсинки, мкм²; VII — диаметр крипты, мкм; VIII — высота эпителия в криптах, мкм

Fig. 6. Dynamics of relative deviations in morphometric indicators of the jejunum of «Smena 9» compared to the «Ross 308» cross, %: 1) at 10 days of age; 2) at 21 days of age; 3) at 32 days of age. I — thickness of the mucous membrane, mcm; II — thickness of the submucosal layer, mcm; III — thickness of the muscular layer, mcm; IV — number of goblet cells per 1 mm² section; V — area of the crypt, mcm²; VI — area of the villus, mcm²; VII — diameter of the crypts, mcm; VIII — height of the epithelium in the crypts, mcm



(рис. 6), но их выраженность существенно снизилась по сравнению с показателями 21-суточного возраста и составила 7,08-51,97%. При этом цыплята кросса «Смена 9» превосходили представителей кросса «Росс 308» по толщине слизистой оболочки на 6,69%.

Таким образом, выявленные закономерности динамики морфометрических показателей подтверждают наличие генетически детерминированных различий в темпах и направленности морфогенеза тощей кишки у цыплят-бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308».

Эти различия проявляются в этапности формирования тканевых компонентов, специфике развития железистого и защитного аппаратов, а также в особенностях структурной перестройки стенки кишки в ходе постнатального онтогенеза.

На следующем этапе было оценено влияние возраста на изменчивость морфометрических показателей стенки тощей кишки при помощи дисперсионного анализа (табл. 2).

Его результаты (корреляционное отношение η и факториальная дисперсия η^2) свидетельствуют о выраженной возрастной морфометрических параметров у обоих исследуемых кроссов,

при этом характер влияния фактора «возраст» имеет кросс-специфичные особенности.

У кросса «Смена 9» возраст выступает доминирующим фактором для большинства изученных показателей. Наиболее высокая степень влияния выявлена для толщины слизистой оболочки ($\eta^2 = 98,15\%$), площади крипты ($\eta^2 = 98,99\%$) и количества бокаловидных клеток (96,81%), что указывает на жесткую зависимость этих структурно-функциональных характеристик от этапа постнатального онтогенеза в промышленных условиях.

Практически полная детерминация живой массы возрастом подтверждается значением $\eta^2 = 95,00\%$. Умеренный уровень влияния фактора «возраст» отмечен для толщины подслизистой основы ($\eta^2 = 60,37\%$), тогда как наименьшее воздействие зафиксировано в отношении толщины мышечной оболочки ($\eta^2 = 36,62\%$), высоты эпителия в криптах

($\eta^2 = 38,67\%$) и диаметра крипты ($\eta^2 = 28,17\%$).

Следовательно, у кросса «Смена 9» возрастной фактор преимущественно регулирует параметры, отражающие состояние мукозного и секреторного компонентов стенки кишки, в то время как развитие мышечно-подслизистого слоя характеризуется относительно большей более автономностью от возрастного фактора.

Для кросса «Росс 308» также характерна высокая степень возрастной детерминации. Однако распределение вклада фактора «возраст» по отдельным морфометрическим параметрам отличается от такового у кросса «Смена 9». Наибольшая влияние возраста установлено для живой массы ($\eta^2 = 97,00\%$), площади ворсинки ($\eta^2 = 98,07\%$) и площадь крипты ($\eta^2 = 96,87\%$) (табл. 2).

При этом толщина слизистой оболочки в меньшей степени обусловлена возрастом ($\eta^2 = 87,44\%$) по сравнению с кроссом «Смена 9» ($\eta^2 = 98,15\%$). В то же время у кросса «Росс 308» существенно выше вклад возрастного фактора в формирование толщины мышечной оболочки ($\eta^2 = 88,97\%$) и подслизистой основы ($\eta^2 = 84,49\%$) относительно соответствующих показателей кросса «Смена 9» (36,62% и 60,37% соответственно).

Таблица 2. Корреляционное отношение (η) и факториальная дисперсия η^2x , % возраста птицы на морфометрические показатели стенки тощей кишки
Table 2. Correlation ratio (η) and factorial variance η^2x , % of bird age on the morphometric parameters of the jejunal wall

Показатель	«Смена 9»		«Росс 308»	
	η	η^2x — доля влияния фактора, % ¹	η	η^2x — доля влияния фактора, % ¹
Живая масса, г	0,98	0,95 ± 0,34***	0,99	0,97 ± 0,20***
Толщина слизистой оболочки, мкм	0,99	98,15 ± 0,14***	0,94	87,44 ± 0,93***
Толщина подслизистой основы, мкм	0,78	60,37 ± 2,94***	0,92	84,49 ± 1,15***
Толщина мышечной оболочки, мкм	0,61	36,62 ± 4,69***	0,94	88,97 ± 0,82***
Количество бокаловидных клеток в 1 мм ² среза	0,98	96,81 ± 0,08***	0,98	96,30 ± 0,23***
Площадь крипт, мкм ²	0,99	98,99 ± 0,08***	0,98	96,87 ± 0,23***
Площадь ворсинки, мкм ²	0,98	95,42 ± 0,34***	0,99	98,07 ± 0,14**
Диаметр крипт, мкм	0,53	28,17 ± 5,32*	0,61	37,72 ± 4,61***
Высота эпителия в криптах, мкм	0,62	38,67 ± 4,54**	0,72	51,12 ± 3,62***

Примечание: ¹ значение достоверности при * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

Это позволяет констатировать, что у кросса «Росс 308» возрастной фактор оказывал сопоставимо выраженное регулирующее воздействие на все оболочки, тогда как у кросса «Смена 9» доминирующая роль возраста проявлялась преимущественно в развитии слизистой оболочки. Для диаметра и высоты эпителия в криптах влияние возрастного фактора оставалось умеренным ($\eta^2 = 37,72\%$ и $51,12\%$).

Результаты корреляционного анализа, оценивающего вклад фактора «кросс» в вариабельность морфометрических показателей стенки тощей кишки в различные возрастные периоды постнатального онтогенеза в промышленных условиях, показали возрастную динамику доли влияния данного фактора (η^2), которая варьирует в зависимости от конкретного морфологического признака (табл. 3).

В возрасте 10 суток наибольшее влияние кросса проявилось для показателей, отражающих секреторный и криптальный потенциал кишечной стенки: доля влияния составила 85,03% для количества бокаловидных клеток, 69,70% — для площади крипт, 51,95% — для диаметра крипт и 44,79% — для высоты эпителия в криптах.

Полученные данные свидетельствовали о том, что генетические различия между кроссами детерминируют указанные морфофункциональные параметры уже на ранних этапах онтогенеза. Влияние кроссового фактора на толщину мышечной оболочки оказалось умеренным ($\eta^2 = 25,28\%$), тогда как его вклад в изменчивость живой массы, толщины слизистой и подслизистой оболочек, а также площади ворсинок был минимальным ($\eta^2 < 5\%$).

К 21 суткам наблюдалось усиление роли кросса, как определяющего фактора структурной организации кишечной стенки: доля его влияния достигала максимальных значений для толщины слизистой оболочки ($\eta^2 = 96,85\%$), мышечной оболочки ($\eta^2 = 88,72\%$), количества бокаловидных клеток ($\eta^2 = 97,42\%$) и площади крипт ($\eta^2 = 99,83\%$). Данный возрастной этап характеризовался наиболее выраженной дифференцировкой морфометрических параметров между исследуемыми кроссами. При этом влияние кросса на толщину подслизистой основы оставалось умеренным ($\eta^2 = 32,20\%$), а на площадь ворсинки, диаметр и высоту крипт — незначительным (менее $\eta^2 = 8\%$).

Таким образом, в середине исследуемого периода фактор «кросс» практически полностью определял формирование структуры слизистой и мышечного слоя, тогда как вариабельность криптальных параметров была обусловлена преимущественно иными (некроссовыми) факторами.

К 32 суткам высокая степень влияния кросса сохранялась в отношении ряда структурных компонентов стенки кишки: толщины мышечной оболочки ($\eta^2 = 90,22\%$) и подслизистой основы ($\eta^2 = 81,07\%$), высоты эпителия в криптах ($\eta^2 = 79,25\%$) и диаметра крипт ($\eta^2 = 63,14\%$).

Таблица 3. Корреляционное отношение (η) и факториальная дисперсия η^2x , % кросса птицы на морфометрические показатели желудков в различные возрастные периоды

Table 3. Correlation ratio (η) and factorial variance η^2x , % of bird cross on morphometric parameters of stomachs in different age periods

Признак	Корреляционное отношение, η			η^2x — доля влияния фактора, % ¹		
	10 сут	21 сут	32 сут	10 сут	21 сут	32 сут
Живая масса, гр	0,06	0,01	0,14	0,40 ± 5,53	0,01 ± 5,56	1,83 ± 5,45
Толщина слизистой оболочки, мкм	0,15	0,98	0,38	2,38 ± 5,42	96,85 ± 0,17***	14,44 ± 4,75
Толщина подслизистой основы, мкм	0,20	0,57	0,90	4,15 ± 5,33	32,20 ± 3,77**	81,07 ± 1,05***
Толщина мышечной оболочки, мкм	0,50	0,94	0,95	25,28 ± 4,15**	88,72 ± 0,63***	90,22 ± 0,54***
Количество бокаловидных клеток в 1 мм ² среза	0,92	0,99	0,87	85,03 ± 1,68***	97,42 ± 0,01***	75,63 ± 0,61***
Площадь крипт, мкм ²	0,83	1,00	0,94	69,70 ± 1,68***	99,83 ± 0,01***	88,94 ± 0,61***
Площадь ворсинки, мкм ²	0,02	0,24	0,41	0,03 ± 5,55	5,55 ± 5,25	16,99 ± 4,61*
Диаметр крипт, мкм	0,72	0,06	0,79	51,95 ± 2,67***	0,39 ± 5,53	63,14 ± 2,05***
Высота эпителия в криптах, мкм	0,67	0,27	0,89	44,79 ± 3,07***	7,15 ± 5,16	79,25 ± 1,15***

Примечание: ¹ значение достоверности при * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

В тоже время отмечалось существенное снижение доли влияния кросса на толщину слизистой оболочки до 14,44%, тогда как для количества бокаловидных клеток данный показатель оставался на высоком уровне ($\eta^2 = 75,63\%$).

Таким образом, фактор «кросс» оказывал значимое и динамически меняющееся влияние на морфометрические показатели стенки тощей кишки цыплят-бройлеров в ходе постнатального онтогенеза, его вклад (η^2) существенно зависел как от возраста птицы, так и от конкретного морфологического признака.

Масса тела выступает ключевым показателем эффективности птицеводства, одновременно служа интегральным критерием физиологического состояния и темпов роста птицы [30, 31]. Ее динамика тесно сопряжена с функциональным состоянием желудочно-кишечного тракта, который определяет результативность метаболических потоков и характер иммунных реакций в организме [32–34].

Колесник и др. показали, что интегральные показатели метаболического статуса, в частности индекс атерогенности и соотношение липопротеинов, могут служить объективными критериями оценки эффективности здоровьесберегающих технологий в промышленном птицеводстве [34]. Полученные в настоящем исследовании данные о кросс-специфических различиях в морфогенезе тощей кишки дополняют эти представления, указывая на генетическую обусловленность не только продуктивных, но и структурно-функциональных характеристик пищеварительной системы бройлеров.

Особое значение в реализации этих функций принадлежит тощей кишке (структурно-функциональному звену тонкой кишки), клеточные компоненты которой обеспечивают переваривание и всасывание питательных компонентов корма, регуляцию иммунных процессов, стимуляцию роста, а также реализацию кишечного-печеночной оси [32]. В связи с этим оценка морфологических характеристик тощей кишки у цыплят-бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308» представляет существенный интерес для понимания механизмов формирования продуктивности и адаптационного потенциала птицы.

Результаты проведенных гистологических и морфометрических исследований выявили выраженную изменчивость структур клеточной стенки тощей кишки у бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308» в ходе выращивания, позволив выделить как общие закономерности возрастного морфогенеза кишечной стенки, так и кросс-специфические особенности, потенциально значимые для оценки продуктивных качеств бройлеров [21].

К числу общих морфологических закономерностей следует отнести отсутствие патологических изменений на макроскопическом уровне у представителей обоих кроссов в 10, 21 и 32-суточном возрасте. Это свидетельствует о нормальном

базовом состоянии пищеварительного тракта в условиях промышленного выращивания. Гистоархитектоника тощей кишки на протяжении исследованного периода сохраняла типовую структурную организацию: слизистая оболочка была сформирована ворсинками и криптами, выстланная однослойным цилиндрическим эпителием с бокаловидными клетками; подслизистая основа представлена рыхлой соединительной тканью с умеренной клеточной плотностью и достаточным сосудистым компонентом. Данная картина отражает процесс формирования структур кишечной стенки при выращивании в промышленных условиях [5, 35].

Кросс-специфические различия проявлялись в ряде ключевых морфофункциональных параметров:

- Количество бокаловидных клеток. У кросса «Росс 308» на всех этапах исследования (10, 21, 32 сутки) количество бокаловидных клеток достоверно выше, чем у кросса «Смена 9» в 1,41–2,40 раза. Поскольку бокаловидные клетки продуцируют слизь, выполняющую защитную, барьерную и микробиота-модулирующую функции, а также предохраняющую эпителию от механических и химических повреждений [36, 37], более раннее и интенсивное развитие секреторного аппарата у «Росс 308» может рассматриваться как генетически обусловленная стратегия активной защиты слизистой оболочки на ранних этапах онтогенеза [35];

- Лимфоидные узелки в собственной пластинке слизистой оболочки. В 21-суточном возрасте у кросса «Росс 308» выявлено достоверно большее количество лимфоидных узелков в слизистой оболочке тощей кишки. Данный факт может указывать на более выраженную локальную иммунную реактивность и ускоренное формирование кишечного иммунитета в середине периода выращивания [14];

- Морфометрическая динамика структурных компонентов. Характер возрастной динамики морфометрических параметров имел кросс-специфичную направленность. У кросса «Смена 9» ряд показателей (толщина подслизистой основы, мышечной оболочки, площадь ворсинок и крипт) демонстрировал линейный рост (увеличение в 1,23–5,27 раза к 32-суткам). При этом толщина слизистой оболочки, диаметр крипт и высота эпителия в криптах достигали пиковых значений к 21 суткам (прирост в 1,22–4,04 раза) с последующим снижением к 32-м суткам в 1,06–2,15 раза. Такая динамика отражала возрастную вариабельность «оборота тканей» и, как следствие, изменение скорости обновления ворсинок и их всасывающей способности [38, 39]. У кросса «Росс 308» морфометрические показатели стенки тощей кишки изменялись более поступательно, без выраженного спада на завершающем этапе, что свидетельствует о более равномерном и устойчивом морфогенезе клеточных структур и потенциально более

стабильной эффективности всасывания питательных веществ.

Дисперсионный анализ подтвердил, что возраст является доминирующим фактором, определяющим изменчивость морфометрических показателей стенки тощей кишки у цыплят-бройлеров обоих кроссов. Высокие значения факториальной дисперсии (η^2) для живой массы (95,00–97,00%), площади ворсинок и крипт (95,42–98,99%), количества бокаловидных клеток (96,30–96,80%) свидетельствовали о тесной синхронизации структурного развития кишечной стенки с общим ростом и метаболической перестройкой организма. Полученные результаты согласуются с данными, представленными в работе Abdel-Kafy *et al.* [32].

При этом характер влияния возрастного фактора имел кросс-специфический профиль:

– У цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» возраст в наибольшей степени определял параметры слизистой оболочки: ее толщину, количество бокаловидных клеток, площадь крипт и ворсинок, ($\eta^2 = 95,42$ –98,99%). Развитие мышечно-подслизистого слоя менее зависело от возраста ($\eta^2 = 36,62$ –60,37%). Относительно низкая степень влияния возраста на диаметр крипт ($\eta^2 = 28,17\%$) и высоту эпителия в криптах ($\eta^2 = 38,67\%$) отражает упорядочивание структурной организации крипт в процессе роста, при котором поддержание динамического равновесия между пролиферацией и дифференциацией служит стабилизатором данных параметров [40, 41];

– У цыплят-бройлеров кросса «Росс 308» возрастной фактор оказывал сопоставимое влияние на все оболочки стенки тощей кишки ($\eta^2 = 84,49$ –98,77 %), что указывало на более сбалансированную и скоординированную динамику тканевого роста. При этом, как и у кросса «Смена 9», возраст незначительно влиял на диаметр крипт ($\eta^2 = 37,72\%$) и высоту эпителия в криптах ($\eta^2 = 51,12\%$), что обусловлено поддержанием структурного гомеостаза в процессе онтогенеза [40].

Корреляционный анализ показал, что на вариабельность морфометрических признаков стенки тощей кишки значимо влиял фактор «кросс», причем степень его вклада зависела от возраста:

– В 10 суток наибольшее влияние кросса проявилось в параметрах, отражающих секреторный и криптальный потенциал (количество бокаловидных клеток ($\eta^2 = 85,03\%$), площадь крипт ($\eta^2 = 69,70\%$). Это свидетельствовало о том, что генетические различия между кроссами на раннем этапе онтогенеза реализовывались преимущественно через формирование железисто-секреторного аппарата;

– К 21 суткам роль кросса как определяющего фактора существенно усиливалась. Фактор «кросс» практически полностью определял толщину слизистой и мышечной оболочек, количество бокаловидных клеток и площадь крипт ($\eta^2 = 88,72$ –99,83 %), что соответствовало периоду

максимальной морфологической дифференцировки;

– К 32 суткам влияние кросса на толщину слизистой оболочки снижалось до $\eta^2 = 14,44\%$, но оставалось высоким для мышечного слоя, подслизистой основы, количества бокаловидных клеток и площади крипт ($\eta^2 = 75,63$ –90,22%). Данная динамика отражала переход к стабилизации структуры кишечной стенки при сохранении генетически детерминированных различий в ее функциональных компонентах.

Наличие устойчивых межкроссовых различий подтверждалось данными по относительным отклонениям морфометрических показателей кросса «Смена 9» от кросса «Росс 308»: большинство параметров у «Смена 9» были ниже на 0,64–79,60%. Особенно были выражены различия по толщине мышечной оболочки, количеству бокаловидных клеток и площади крипт, то есть структурам, непосредственно связанным с защитной и всасывательной функциями кишечника.

Таким образом, полученные результаты подтверждали, что морфогенез тощей кишки у цыплят-бройлеров являлся сложным, генетически детерминированным процессом, динамично изменяющимся с возрастом и характеризующимся выраженными кросс-специфическими особенностями.

Полученные данные расширяют представления о постнатальном онтогенезе пищеварительной системы птиц и могут быть использованы при разработке научно обоснованных технологий выращивания бройлеров с учетом биологических особенностей конкретных кроссов.

Выводы/Conclusion

Результаты проведенных исследований позволили сформулировать следующие основные выводы:

1. Тошая кишка у цыплят-бройлеров кроссов «Смена 9» и «Росс 308» в 10-, 21- и 32-суточном возрасте сохраняет анатомическую целостность, а ее макроскопические характеристики соответствуют критерию «норма». Гистоархитектоника стенки тощей кишки характеризуется формированием типовой структурной модели: ворсинки и крипты выстланы однослойным цилиндрическим эпителием с бокаловидными клетками; подслизистая основа представлена рыхлой соединительной тканью с умеренной клеточной плотностью и достаточным сосудистым компонентом. Кросс-специфические особенности проявляются в более высоком количестве бокаловидных клеток (в 1,41–2,40 раза) и лимфоидных узелков (в 21-суточном возрасте) у кросса «Росс 308» по сравнению с кроссом «Смена 9».

2. Морфометрические показатели стенки тощей изменяются с возрастом. У кросса «Смена 9» линейный рост характерен для толщины подслизистой основы и мышечной оболочки, количества бокаловидных клеток, площади ворсинок и крипт

(увеличение к 32-суткам в 1,23–5,27 раза). Толщина слизистой оболочки, диаметр крипт и высота эпителия в криптах достигают максимума к 21 суткам, возрастая в 1,22–4,04 раза, а затем снижаются к 32 суткам в 1,06–2,15 раза. У кросса «Росс 308» поступательная динамика прослеживается для толщины слизистой оболочки и подслизистой основы, количества бокаловидных клеток и площади ворсинок (прирост в 1,72–5,61 раза). В 21-суточном возрасте наблюдаются локальные экстремумы: в виде максимума для толщины мышечной оболочки и площади крипт; в виде минимума для диаметра крипт и высоты эпителия в криптах; при этом колебания параметров находятся в пределах от 10,51 и до 35,72%.

3. Возраст выступает доминирующим фактором изменчивости большинства морфометрических параметров стенки тощей кишки как у кросса «Смена 9», так и у кросса «Росс 308» ($\eta^2 = 84,49-98,99\%$). Исключение составляют диаметр крипт и высота эпителия в криптах

($\eta^2 = 28,17-51,12\%$), что отражает их относительную структурную стабильность в ходе выращивания птицы. Влияние фактора «кросс» на изменчивость морфометрических показателей зависит от возраста цыплят-бройлеров у обоих кроссов и определяет формирование секреторного и криптального потенциала стенки тощей кишки.

Выявленные закономерности подтверждают наличие генетически обусловленных различий в темпах и направленности морфогенеза тощей кишки у исследованных кроссов. Данные различия проявляются в этапности формирования тканевых компонентов, специфике развития железистого и защитного аппаратов, а также в особенностях структурной перестройки стенки кишки в ходе постнатального онтогенеза. Полученные данные могут стать основой для дальнейших работ, направленных на совершенствование кормовых программ и повышение эффективности производства мяса 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:

Исследования выполнены в рамках регионального конкурса Российского научного фонда 2025 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (соглашение № 26-16-20003 от 12.05.2026 г.).

FUNDING:

The research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation's 2025 regional competition "Conducting fundamental scientific research and Exploratory scientific research by individual scientific groups" (Agreement №. 26-16-20003 dated 12.05.2026).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Веретенникова М.А., Дерхо М.А. Оценка влияния роста регулирующих гормонов на массу тела цыплят-бройлеров. *Генетика и разведение животных*. 2025; (2): 55–60. EDN GHYPJL
2. Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Ермолова Е.М., Ермолов С.М., Неверова О.П., Долгая М.Н. Влияние сорбента и пробиотика на продуктивность цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2025; (4): 108–114. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-108-114>
3. Крючков И.А., Никишов А.А. Влияние белкового концентрата из личинок черной львинки *Hermetia illucens* на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2025; (4): 108–112. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-108-112>
4. 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; (10): 142–158. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-142-158>
5. Понкратова Т.Ю., Мелешков С.Ф., Сидорова Д.Г. Морфометрическая характеристика тощей и подвздошной кишки цыплят-бройлеров кросса РОСС 308 через 30 и 40 суток постнатального периода в норме и при добавлении в рацион послеспиртовой сухой барды. *В мире научных открытий*. 2018; 10(5): 74–87. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-5-74-87>
6. Загарин А.Ю., Селионова М.И., Беляева Н.П., Лысенко Ю.А., Куликов Е.И., Жевнеров А.В. Здоровье кишечника цыплят-бройлеров при использовании в кормлении фитогенной композиции. *Аграрная наука*. 2026; (8): 95–104. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-95-104>
7. Калашников М.В. Оценка антагонистической активности и антибиотикочувствительности штаммов *Bacillus mojavensis*, выделенных из кишечника цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2026; (8): 43–52. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52>
8. Мифтахутдинов А.В., Ноговицина Е.А., Аментьева Е.В., Шакирова Ю.С. Изучение отдельных морфометрических особенностей стенки тонкой кишки у цыплят-бройлеров в условиях технологических стрессов в промышленном птицеводстве и на фоне их фармакологической профилактики. *Аграрная наука*. 2025; (10): 8–16. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-8-16>
9. Шаповалов С.О., Буряков Н.П., Корнилова Е.В., Жевнеров А.В., Алтухов Т.Д., Аникина Д.С. Мониторинг качества инкубационного яйца мясных кроссов импортного и отечественного производства. *Аграрная наука*. 2024; (12): 89–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-89-97>
10. Березова К.А., Никанова Д.А., Артемьева О.А., Колодина Е.Н., Довыденкова М.В. Влияние дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* на микробиоценоз и продуктивность цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2026; (5): 72–80. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-72-80>

REFERENCES

1. Veretennikova M., Derkho M. Assessment of the effect of growth regulating hormones on body weight broiler chickens. *Genetics and breeding of animals*. 2025; (2): 55–60 (in Russian). EDN GHYPJL
2. Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Ermolova E.M., Ermolov S.M., Neverova O.P., Dolgaya M.N. The effect of sorbent and probiotic on the productivity of broiler chickens. *Agrarian science*. 2025; (2): 108–114 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-108-114>
3. Kryuchkov I.A., Nikisov A.A. Effect of protein concentrate from black soldier fly *Hermetia illucens* larvae on the productive performance of broiler chickens. *Agrarian science*. 2025; (4): 108–112 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-108-112>
4. 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; (10): 142–158 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-142-158>
5. Ponkratova T.Yu., Meleshkov S.F., Sidorova D.G. Morphometric characteristics of the duodenum of broiler chickens ROSS 308 after 30 and 40 days of postnatal ontogenesis in norm and when you add in the diet of dry grain distillery stillage. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2018; 10(5): 74–87 (in Russian). <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-5-74-87>
6. Zagarin A.Yu., Selionova M.I., Belyaeva N.P., Lysenko Yu.A., Kulikov E.I., Zhevnerov A.V. The health of broiler chickens' intestines when using a phytogetic composition in their diet. *Agrarian science*. 2026; (8): 95–104 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-95-104>
7. Kalashnikov M.V. Evaluation of antagonistic activity and antibiotic susceptibility of *Bacillus mojavensis* strains isolated from the intestines of broiler chickens. *Agrarian science*. 2026; (8): 43–52 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-43-52>
8. Miftakhutdinov A.V., Nogovitsina E.A., Akentieva E.V., Shakirova Yu.S. Study of individual morphometric features of the small intestine wall in broiler chickens under conditions of technological stress in industrial poultry farming and against the background of their pharmacological prevention. *Agrarian science*. 2025; (10): 8–16 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-8-16>
9. Shapovalov S.O., Buryakov N.P., Kornilova E.V., Zhevnerov A.V., Altukhov T.D., Anikina D.S. Monitoring the quality of incubation eggs of meat crosses of imported and domestic production. *Agrarian science*. 2024; (12): 89–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-89-97>
10. Berezova K.A., Nikanova D.A., Artemyeva O.A., Kolodina E.N., Dovydenkova M.V. Influence of *Rhodotorula mucilaginosa* yeast on the microbiocenosis and productive qualities of broiler chickens. *Agrarian science*. 2026; (5): 72–80 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-72-80>

11. Йылдырым Е.А. и др. L-карнитин-индуцированные изменения в профиле экспрессии ключевых генов у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» с учетом половых различий. *Аграрная наука*. 2025; (10): 81–90. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90>
12. Йылдырым Е.А. и др. Влияние различных источников аминокислот на состав кишечной микрофлоры мясных кур и петухов родительского стада кросса «Смена 9». *Аграрная наука*. 2024; (2): 53–60. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-53-60>
13. Йылдырым Е.А. и др. Влияние различных форм лизина и метионина в рационе бройлеров на профиль транскрипции ключевых генов. *Аграрная наука*. 2025; (2): 87–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-87-94>
14. Матвеев О.А., Торшков А.А. Гистоархитектоника кишечника цыплят-бройлеров в постинкубационном онтогенезе. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019; (5): 188–191. EDN BUWVKW
15. Hundam S., Al-Zghoul M.B., Almaasfeh M. The impact of embryonic thermal manipulation on the microbiome of the jejunum and cecum in response to post-hatch acute heat stress. *Poultry Science*. 2026; 105(1): 106212. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.106212>
16. Lema I., Araújo J.R., Rolhion N., Demignot S. Jejunum: The understudied meeting place of dietary lipids and the microbiota. *Biochimie*. 2020; 178: 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.09.007>
17. Abdel-Kafy E.M. et al. Gut Microbiota, Intestinal Morphometric Characteristics, and Gene Expression in Relation to the Growth Performance of Chickens. *Animals*. 2022; 12(24): 3474. <https://doi.org/10.3390/ani12243474>
18. Харитоник Д.Н., Тумилович Г.А. Морфофункциональные изменения в организме молодняка крупного рогатого скота и птицы на фоне применения минерально-витаминных и пробиотических препаратов. Гродно: ГГАУ. 2019; 220. ISBN 978-985-537-146-6
19. Дроздова Л.И., Новикова М.В., Лебедева И.А., Кундюкова У.И. Оценка влияния антибактериальных и пробиотических препаратов на морфологические изменения в организме цыплят-бройлеров. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2022; 60: 68–74. EDN JHBFSA
20. Черепанова Н.Г. и др. Гистология кишечной стенки цыплят-бройлеров при использовании различных биодобавок. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2019; (1): 98–112. EDN WKPSDD
21. Бытов М.В. и др. Возрастные особенности морфологических изменений кишечника кур и экспрессии SOD1. *Птицеводство*. 2026; (2): 28–35. EDN VMTNEQ
22. Дроздова Л.И., Лебедева И.А., Брекоткина Н.В., Хамитов М.Р., Бадов М.Д. Морфологические изменения в поджелудочной железе у цыплят-бройлеров под влиянием кормовой добавки, содержащей метаболиты *Bacillus subtilis*. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2025; 119: 260–267. EDN TYHUUN
23. Дроздова Л.И., Красноперов А.С., Опарина О.Ю., Малков С.В., Белоусов А.И., Черницкий А.Е. Влияние композиции гепатопротективного действия на биохимические и морфоструктурные изменения в организме кур-несушек при тепловом стрессе. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024; (4): 61–66. <https://doi.org/10.31857/S2500262724040113>
24. Рассказова Е.Д., Семенютин В.В., Еременко В.И. Интенсивность роста, микробиоценоз кишечника и строение иммунокомпетентных органов цыплят-бройлеров при использовании кормовой добавки «Нуфокер Р». *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025; (4): 120–126. EDN CVIDHJ
25. Онищук А.А., Семененко М.П., Железнякова К.А., Лагунина Н.А. Гистоструктура органов цыплят-бройлеров при длительном применении кормовой добавки Лозекорм. *Сборник научных трудов КНЦЗВ*. 2025; 14(1): 299–302. <https://doi.org/10.48612/sbornik-2025-1-71>
26. Мизhevikina Yu.A., Mizhevikina A.S., Tsareva O.Yu., Zyakhor Ya.E. Микроморфометрические изменения в кишечнике цыплят-бройлеров при применении кормовой добавки. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025; (6): 189–194. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-116-6-189-194>
27. Chen F. et al. Deoxynivalenol-induced pyroptosis and autophagy inhibition collectively promote inflammatory injury in the glandular stomach of chicken embryos. *Poultry Science*. 2025; 104(5): 105052. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105052>
28. Колесник Е.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б. Функциональные морфоденситометрические параметры хроматина ядра и цитоплазмы эритроцитов и эритроцитов птиц в постэмбриональном онтогенезе. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(1): 59–85. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85>
29. Гриценко С.А., Белоусова О.В., Ребезов М.Б., Видякин Ю.Ю. Показатели убоя и химического состава мяса товарного молодняка птицы в зависимости от живой массы в суточном возрасте. *Аграрная наука*. 2023; (11): 82–87. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-376-11-82-87>
30. Колесник Е.А., Дерхо М.А. К вопросу об адаптационном гомеостазе животных в модели организма бройлерных кур в технологической среде жизнедеятельности. *АПК России*. 2016; 23(5): 1011–1015. EDN XEPBFL
31. Колесник Е.А., Дерхо М.А. Оценка интенсивности обмена веществ и прироста массы тела у цыплят-бройлеров по липопротеиновому индексу. *Ветеринария*. 2014; (7): 47–51. EDN SKOLBZ
32. Abdel-Kafy E.-S.M. et al. Integrated transcriptome analysis of jejunum and liver to identify key genes and pathways associated with body weight in chickens. *Scientific Reports*. 2026; 16: 3477. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-34620-0>
33. Bertocchi M. et al. Exploring Differential Transcriptome between Jejunal and Cecal Tissue of Broiler Chickens. *Animals*. 2019; 9(5): 221. <https://doi.org/10.3390/ani9050221>
34. Колесник Е.А., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Мамилина Н.В. Индекс атерогенности, соотношения липопротеинов, общего холестерина и белка бройлерных кур как фактор здоровьесберегающих технологий. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(11): 1459–1475. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-11-1459-1475>
35. Понкратова Т.Ю., Мелешков С.Ф., Барашкова С.А. Морфология двенадцатиперстной кишки цыплят-бройлеров кросса РОСС 308 в раннем постнатальном онтогенезе. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2023; (3): 142–150. EDN YEDECX
51. Yildirim E.A. et al. L-carnitine-induced changes in the expression profile of key genes in broiler chickens of the "Smena 9" cross, taking into account sex differences. *Agrarian science*. 2025; (10): 81–90 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90>
52. Yildirim E.A. et al. Influence of various sources of amino acids on composition of intestinal microflora of meat chickens and roosters of parent herd of cross "Smena 9". *Agrarian science*. 2024; (2): 53–60 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-53-60>
53. Yildirim E.A. et al. Effect of different forms of lysine and methionine in broiler diets on the key genes transcriptional profile. *Agrarian science*. 2025; (2): 87–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-391-02-87-94>
54. Matveev O.A., Torshkov A.A. Histoarchitectonics of the broiler chickens intestine in the post-incubation ontogenesis. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019; (5): 188–191 (in Russian). EDN BUWVKW
55. Hundam S., Al-Zghoul M.B., Almaasfeh M. The impact of embryonic thermal manipulation on the microbiome of the jejunum and cecum in response to post-hatch acute heat stress. *Poultry Science*. 2026; 105(1): 106212. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.106212>
56. Lema I., Araújo J.R., Rolhion N., Demignot S. Jejunum: The understudied meeting place of dietary lipids and the microbiota. *Biochimie*. 2020; 178: 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.09.007>
57. Abdel-Kafy E.M. et al. Gut Microbiota, Intestinal Morphometric Characteristics, and Gene Expression in Relation to the Growth Performance of Chickens. *Animals*. 2022; 12(24): 3474. <https://doi.org/10.3390/ani12243474>
58. Kharitonik D.N., Tumilovich G.A. Morphofunctional changes in the body of young cattle and poultry against the background of using mineral-vitamin and probiotic preparations. Grodno: Grodno State Agrarian University. 2019; 220 (in Russian). ISBN 978-985-537-146-6
59. Drozdova L.I., Novikova M.V., Lebedeva I.A., Kundryukova U.I. Evaluation of the effect of antibacterial and probiotic drugs on morphological changes in the body of broiler chickens. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2022; 60: 68–74 (in Russian). EDN JHBFSA
60. Cherepanova N.G. et al. Intestinal wall histology of broiler chickens fed with different supplements. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019; (1): 98–112 (in Russian). EDN WKPSDD
61. Bytov M.V. et al. Age related alterations in the intestinal histomorphology and expression of SOD1 in laying hens. *Pitisevodstvo*. 2026; (2): 28–35 (in Russian). EDN VMTNEQ
62. Drozdova L.I., Lebedeva I.A., Brekotkina N.V., Khamitov M.R., Badov M.D. Morphological changes in the broiler chickens pancreas under the influence of a feed additive containing metabolites of *Bacillus subtilis*. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2025; 119: 260–267 (in Russian). EDN TYHUUN
63. Drozdova L.I., Krasnoperov A.S., Oparina O.Yu., Malkov S.V., Belousov A.I., Chernitskiy A.E. The effect of the composition of hepatoprotective action on biochemical and morphostructural changes in the body of laying hens under thermal stress. *Russian Agricultural Sciences*. 2024; (4): 61–66 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500262724040113>
64. Rasskazova E.D., Semenutyn V.V., Eremenko V.I. Growth rate, intestinal microbiocenosis, and structure of immunocompetent organs of broiler chickens when using the feed additive "Nufoker R". *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2025; (4): 120–126 (in Russian). EDN CVIDHJ
65. Onischuk A.A., Semenenko M.P., Zheleznyakova K.A., Lagunina N.A. Histostructure of organs of broiler chickens with long-term use of the feed additive of Lozekorm. *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*. 2025; 14(1): 299–302 (in Russian). <https://doi.org/10.48612/sbornik-2025-1-71>
66. Mizhevikina Yu.A., Mizhevikina A.S., Tsareva O.Yu., Zyakhor Ya.E. Micromorphometric changes in the intestines of broiler chickens with the use of a feed additive. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025; (6): 189–194 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2025-116-6-189-194>
67. Chen F. et al. Deoxynivalenol-induced pyroptosis and autophagy inhibition collectively promote inflammatory injury in the glandular stomach of chicken embryos. *Poultry Science*. 2025; 104(5): 105052. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105052>
68. Kolesnik E.A., Derkho M.A., Rebezov M.B. Functional morpho-densitometric parameters of chromatin of the nucleus and cytoplasm of erythroblasts and red blood cells of birds in postembryonic ontogenesis. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(1): 59–85 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85>
69. Gritsenko S.A., Belookova O.V., Rebezov M.B., Vidyakin Yu.Yu. Indicators of slaughter and chemical composition of meat of commercial young meat poultry depending on live weight at daily age. *Agrarian science*. 2023; (11): 82–87 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-376-11-82-87>
70. Kolesnik E.A., Derkho M.A. To the issue of animal adaptive homeostasis in the model of broiler chicken organism in the technological living environment. *AGRO-industrial complex of Russia*. 2016; 23(5): 1011–1015 (in Russian). EDN XEPBFL
71. Kolesnik E.A., Derho M.A. Estimation of intensity of metabolism and body weight gain in broiler chickens by lipoprotein index. *Veterinary*. 2014; (7): 47–51 (in Russian). EDN SKOLBZ
72. Abdel-Kafy E.-S.M. et al. Integrated transcriptome analysis of jejunum and liver to identify key genes and pathways associated with body weight in chickens. *Scientific Reports*. 2026; 16: 3477. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-34620-0>
73. Bertocchi M. et al. Exploring Differential Transcriptome between Jejunal and Cecal Tissue of Broiler Chickens. *Animals*. 2019; 9(5): 221. <https://doi.org/10.3390/ani9050221>
74. Kolesnik E.A., Derkho M.A., Rebezov M.B., Mamilina N.V. Atherogenicity index, ratio of lipoproteins, total cholesterol and protein of broiler chickens as a factor of health-saving technologies. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(11): 1459–1475 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-11-1459-1475>
75. Ponkratova T.Yu., Meleshkov S.F., Barashkova S.A. Morphology of the duodenum of broiler chickens of ROSS 308 cross in early postnatal ontogenesis. *Vestnik of Omsk SAU*. 2023; (3): 142–150 (in Russian). EDN YEDECX

36. Yang S., Liu H., Liu Y. Advances in intestinal epithelium and gut microbiota interaction. *Frontiers in Microbiology*. 2025; 16: 1499202. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1499202>

37. Raya Tonetti F., Eguileor A., Llorente C. Goblet cells: guardians of gut immunity and their role in gastrointestinal diseases. *eGastroenterology*. 2024; 2(3): e100098. <https://doi.org/10.1136/egastro-2024-100098>

38. Gong H.Z. *et al.* Effects of laying breeder hens dietary β -carotene, curcumin, allicin, and sodium butyrate supplementation on the growth performance, immunity, and jejunum morphology of their offspring chicks. *Poultry Science*. 2020; 99(1): 151–162. <https://doi.org/10.3382/ps/pez584>

39. Nyström E.E.L. *et al.* An intercrypt subpopulation of goblet cells is essential for colonic mucus barrier function. *Science*. 2021; 372(6539): eabb1590. <https://doi.org/10.1126/science.abb1590>

40. Ахриева Х.М., Тертычный А.С., Пачуашвили Н.В., Урусова Л.С. Характеристика крипт слизистой оболочки толстой кишки при воспалительных заболеваниях кишечника. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2024; 14(3): 42–50. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.3.MORPH.4>

41. Головченко Т.С., Лемешенко В.В. Динамика структуры стенки тонкого кишечника у перепелов породы Фараон в постнатальном периоде онтогенеза. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2024; 38: 240–248. EDN JFQOZD

ОБ АВТОРАХ

Марина Аркадьевна Дерхо¹

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой естественно-научных дисциплин
derkho2010@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

Светлана Анатольевна Гриценко¹

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой птицеводства, зоотехнии и технологий АПК
zf.usavm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2334-4925>

Павел Валерьевич Бурков¹

кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
burcovpavel@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7515-5670>

Максим Борисович Ребезов²

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

Богдан Романович Чильчагов¹

аспирант
soskalu@mail.ru

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Ю.А. Гагарина, 13, Троицк, 457103, Россия

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

36. Yang S., Liu H., Liu Y. Advances in intestinal epithelium and gut microbiota interaction. *Frontiers in Microbiology*. 2025; 16: 1499202. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1499202>

37. Raya Tonetti F., Eguileor A., Llorente C. Goblet cells: guardians of gut immunity and their role in gastrointestinal diseases. *eGastroenterology*. 2024; 2(3): e100098. <https://doi.org/10.1136/egastro-2024-100098>

38. Gong H.Z. *et al.* Effects of laying breeder hens dietary β -carotene, curcumin, allicin, and sodium butyrate supplementation on the growth performance, immunity, and jejunum morphology of their offspring chicks. *Poultry Science*. 2020; 99(1): 151–162. <https://doi.org/10.3382/ps/pez584>

39. Nyström E.E.L. *et al.* An intercrypt subpopulation of goblet cells is essential for colonic mucus barrier function. *Science*. 2021; 372(6539): eabb1590. <https://doi.org/10.1126/science.abb1590>

40. Akhrieva Kh.M., Tertychnyy A.S., Pachushvili N.V., Urusova L.S. Characteristics of the colonic crypts in inflammatory bowel diseases. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ" (Rehabilitation, Doctor and Health)*. 2024; 14(3): 42–50 (in Russian). <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.3.MORPH.4>

41. Golovchenko T.S., Lemeshchenko V.V. The small intestine wall structure dynamics of the Pharaon breed quails in the postnatal period of ontogenesis. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2024; 38: 240–248 (in Russian). EDN JFQOZD

ABOUT THE AUTHORS

Marina Arkadyevna Derkho¹

Doctor of Biological Sciences, professor, Head of the Department of Natural Sciences Disciplines
E-mail: derkho2010@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

Svetlana Anatolyevna Gritsenko¹

Doctor of Biological Sciences, professor, Head of the Department of Poultry Farming, Animal Science, and Agricultural Technology
zf.usavm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2334-4925>

Pavel Valerievich Burkov¹

Candidate of Veterinary Sciences, senior research fellow
burcovpavel@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7515-5670>

Maksim Borisovich Rebezov²

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

Bogdan Romanovich Chilchagov¹

Graduate student
soskalu@mail.ru

¹South Ural State Agrarian University, 13 Gagarin st., Troitsk, 457103, Russia

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

УДК 637.5'693

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-53-61

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

✉ yaroslavreb@yandex.ru

Поступила в редакцию: 30.04.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Ребезов Я.М., Ребезов М.Б.

Review



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-53-61

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

✉ yaroslavreb@yandex.ru

Received by the editorial office: 30.04.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Rebezov Ya.M., Rebezov M.B.

Мясо зайцев: пищевая ценность, безопасность и правовые аспекты (научный обзор, часть 1)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Заяц — один из популярных охотничьих трофеев в Евразии, а его мясо традиционно используется охотниками для личного потребления как диетический и экологически чистый продукт. Однако разрозненность научных данных о его безопасности создает потенциальные риски для здоровья, что требует систематизации сведений о пищевой ценности, нормативно-правовом регулировании и химической контаминации зайчатины.

Методы. Поиск релевантных публикаций проводили по ключевым словам в базах Scopus, PubMed, eLibrary, Google Scholar, ScienceDirect, а также в открытых источниках и нормативно-правовых актах. Анализировали работы, содержащие данные о химическом составе, витаминно-минеральном профиле, радионуклидах, пестицидах, а также о правилах добычи и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса зайцев в России, ЕС, США, Канаде, Казахстане и Китае.

Результаты. Зайчатина характеризуется высоким содержанием белка (13,5–23,8 г/100 г), низким уровнем жира (1,1–12,8 г/100 г) и холестерина (62,7–90 мг/100 г), богатым микроэлементным составом (Fe, Co, Mn, P), что подтверждает ее диетический потенциал. Показана зависимость химического состава от региона, сезона и возраста животного. В России, Казахстане и ЕС охота на зайцев разрешена, но обязательная послеубойная ветеринарно-санитарная экспертиза отсутствует либо проводится не в полном объеме (исключение — контроль трихинеллеза в ЕС). В зонах радиоактивного загрязнения (Чернобыльская АЭС, урановые рудники) в мышцах и костях зайцев обнаружены повышенные концентрации Cs-137 (до 4,29 кБк/кг) и Ra-226, а в промышленно развитых регионах — остатки хлорорганических пестицидов (ДДТ, ГХБ, ГХЦГ) и современных фунгицидов, уровень которых коррелирует с возрастом животных. Сделан вывод о необходимости радиологического и химического контроля продукции охоты на загрязненных территориях, а также информирования охотников и потребителей о потенциальных рисках.

Ключевые слова: заяц-русак, заяц-беляк, мясо дичи, безопасность мяса, радионуклиды, тяжелые металлы, зоонозные инфекции, химический состав мяса

Для цитирования: Ребезов Я.М., Ребезов М.Б. Мясо зайцев: пищевая ценность, безопасность и правовые аспекты (научный обзор, часть 1). *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 53–61.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-53-61>

Hare meat: nutritional value, safety and legal aspects (scientific review, part 1)

ABSTRACT

Relevance. The hare is one of the most popular hunting trophies in Eurasia, and its meat has traditionally been used by hunters for personal consumption as a dietary and environmentally friendly product. However, the fragmentary nature of scientific data on its safety creates potential health risks, necessitating a systematisation of information on the nutritional value, regulatory framework, and chemical contamination of hare meat.

Methods. A search for relevant publications was conducted using keywords in Scopus, PubMed, eLibrary, Google Scholar, ScienceDirect databases, as well as in open sources and legal acts. Works containing data on chemical composition, vitamin and mineral profiles, radionuclides, pesticides, as well as on hunting regulations and veterinary sanitary inspection of hare meat in Russia, the EU, the USA, Canada, Kazakhstan and China were analysed.

Results. Hare meat is characterised by high protein content (13.5–23.8 g/100 g), low fat (1.1–12.8 g/100 g) and cholesterol (62.7–90 mg/100 g) levels, and a rich micronutrient composition (Fe, Co, Mn, P), confirming its dietary potential. The chemical composition is shown to depend on the region, season and age of the animal. In Russia, Kazakhstan and the EU, hare hunting is permitted, but mandatory postmortem veterinary sanitary inspection is either absent or not fully implemented (with the exception of trichinellosis control in the EU). In areas of radioactive contamination (the Chernobyl NPP, uranium mines), elevated concentrations of Cs-137 (up to 4.29 kBq/kg) and Ra-226 have been detected in the muscles and bones of hares, while residues of organochlorine pesticides (DDT, HCB, HCH) and modern fungicides have been found in industrially developed regions, with their levels correlating with the age of the animals. It is concluded that radiological and chemical control of hunting products in contaminated areas is necessary, as well as informing hunters and consumers about potential risks.

Key words: European hare, white hare, game meat, meat safety, radionuclides, heavy metals, zoonotic infections, chemical composition of meat

For citation: Rebezov Ya.M., Rebezov M.B. Hare meat: nutritional value, safety and legal aspects (scientific review, part 1). *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 53–61 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-53-61>

Введение/Introduction

Мясо и субпродукты дичи на сегодняшний день представляют собой мало используемый естественный резерв улучшения питания населения. Реализация этого потенциала возможна при условии развития доступности и безопасности охотничьей продукции, что выступает одной из задач в рамках Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации¹ [1–3].

Согласно современным трендам в питании, потребители отдадут предпочтение продуктам с пониженным содержанием жира и повышенной концентрацией белка, стремясь тем самым к более здоровому рациону. 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 [1, 4–6]. Мясо зайцев отвечает этим требованиям и является ценным источником высококачественного мяса диких животных [7]. Мясо зайцев ценится за его нежность и сочность, а также за низкое содержание жира и высокое содержание белка по сравнению с мясом других видов диких и домашних животных [8–12].

Зайцы (*Lepus*) достигают высокой плотности популяции и очень популярны как охотничьи трофеи [13]. Они выступают неотъемлемым компонентом биоты лесостепного ландшафта и представляют собой основной объект охотничьего промысла в зимний сезон [2, 14]. В России основными объектами охоты из семейства зайцевых являются заяц-русак (*Lepus europaeus*) и заяц-беляк (*Lepus timidus*)² [15].

Заяц-русак относится к крупным зайцам: длина тела в среднем составляет 57–68 см, масса — 4–7 кг³. Он является наиболее важным охотничьим животным в Европе на протяжении всего своего исторического распространения, включая те районы, куда он был интродуцирован, будучи широко распространенным и многочисленным по всему своему географическому ареалу [16]. Современный евразийский ареал *Le. europaeus* простирается от северной Испании до интродуцированных популяций в Соединенном Королевстве и южной Скандинавии, на юг до северных районов Ближнего Востока и естественным образом распространился на восток до Сибири; телосложение хрупкое. От зайца-беляка русак отличается более длинными ушами (9,4–15 см), красновато-корич-

невыми глазами и длинным клиновидным хвостом (7,2–14 см) черного или черно-бурого цвета сверху. Задние конечности длиннее, чем у беляка, а передние — короче и уже (длина ступни 13,6–18,5 см), что связано с обитанием в регионах с относительно неглубоким и твердым снежным покровом³ [17–19]. Основные местообитания зайца-русака представлены открытыми пространствами (поля, луга) и экотонами (опушки, поймы, вырубки, просеки, осушенные торфяники). Кроме того, вид встречается в полукоткрытых степях: придорожные лесополосы, заросшие овраги, молодые сосняки и небольшие перелески. Хотя русак обычно избегает сомкнутых хвойных массивов, в настоящее время наблюдается расширение его ареала в зону лиственных и смешанных лесов⁴ [17–19]. Заяц-русак в летнее время предпочитает разнотравье (клевер, одуванчик, злаки), а с наступлением зимы переходит на кору, ветки ивы и березы, а также остатки сухой травы. Кроме того, русаки употребляют семена, корни и нередко поедают культурные растения³ [17, 18].

Для зайца-беляка характерна широкая изменчивость размеров: длина тела взрослых особей составляет 44–65 см (изредка до 74 см), масса — 1,6–4,5 кг, при этом средние показатели закономерно снижаются с северо-запада на юго-восток. Наиболее крупные животные (до 5,5 кг) отмечены в тундре Западной Сибири, тогда как в Якутии и на Дальнем Востоке беляки мельче (около 3 кг). Заяц-беляк распространен на значительной территории Евразии, преимущественно в северных широтах. Он обитает в тундровой, лесной и частично лесостепной зонах Северной Европы (Скандинавия, северо-восток Польши, Шотландии и Уэльсе), России, Казахстане, северо-западной Монголии, северо-восточном Китае, а также на острове Хоккайдо (Япония)³ [17].

В отличие от русака, заяц-беляк является типичным лесным видом и избегает обширных открытых пространств. Его биотопические предпочтения включают молодые осинники, разреженные ельники с ивовым подлеском, смешанные леса, а также закустаренные окраины болот и речные долины. Внутри лесных массивов беляк тяготеет к участкам с полянами и ивняком, зарастающим вырубкам, гарям и опушкам, покрытым кустарниковой растительностью⁴ [18]. Для зайца-беляка характерен скрытный образ жизни с приуроченностью к местам, имеющим укрытия. Вид проявляет активность главным образом в сумерки и ночное время, достигая максимума активности в предутренние и предвечерние периоды. В летний период заяц-беляк питается растениями, ягодами и

¹ Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации

² Охота на зайца в России 2025–2026: виды, методы, рекомендации (URL: <https://hunting-sniping.ru/novosti/pravila-i-sezony-ohoty-na-zaytsa-2025-2026/>)

³ Формозов А.Н. Спутник следопыта. Изд. 7-е, М.: URSS, 2006.

⁴ Бабина М.П., Кошнеров А.Г., Бондарь Т.В., Чирич Е.Г., Стомма С.С., Ветеринарно-санитарный контроль продуктов убоя диких промысловых животных и пернатой дичи: учебно-методическое пособие для студентов по специальности "Ветеринарная санитария и экспертиза" и слушателей факультета повышения квалификации и переподготовки кадров. Витебск: ВГАВМ, 2021; 107 с.

грибами, тогда как зимой основу его рациона составляют кора и ветви кустарников, а также сено и шишки^{2,3} [18].

На зайцев используются разные техники охоты: с подхода, с собаками (гончими), ожидание на стойке, троплением и загонная охота².

От каждого добытого зайца (беляка и русака) в среднем получают не менее 2–3 кг мяса⁴.

Несмотря на восприятие дичи как экологически чистого продукта, ее потребление сопряжено с потенциальными угрозами для здоровья человека. Мясо диких животных может быть источником возбудителей зоонозных инфекций и паразитарных заболеваний, а также аккумулировать повышенные уровни тяжелых металлов и радионуклидов. Дополнительным фактором риска выступает незаконная охота [4, 20].

Существующий объем научных данных, характеризующих пищевую ценность и безопасность мяса зайцев, остается фрагментарным и недостаточным, 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 зайцев.

Систематизированы данные о комплексных рисках (химических, биологических, радиологических) потребления мяса зайцев с учетом российской региональной специфики, а также проведен анализ нормативно-правовой базы разных стран.

Материал и методы исследования / Material and methods

Поиск литературы проводили без ограничений по дате публикации, типу источника и языку исследования. Поиск потенциально релевантных материалов осуществлялся по ключевым словам в электронных базах данных Scopus⁵, eLibrary⁶, PubMed⁷, Google Scholar⁸, Science Direct⁹, доступным нормативно-правовым актам стран и источникам в открытом доступе сети Internet. Были изучены списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных источников информации.

Критерии включения/исключения: включены полевые исследования, лабораторные анализы, обзоры; исключены нерецензируемые источники.

Риск систематической ошибки: региональная ограниченность — большинство данных получено в Европейской части России и Западной Европе.

Данные были проанализированы, чтобы оценить и систематизировать сведения об особенностях, безопасности и потенциальных рисках добычи и потребления зайчатины¹⁰.

Научный обзор разделен на 2 части. Первая часть посвящена особенностям мяса и нормативно-правовой базе его регулирования, а также некоторым из аспектов безопасности мяса (радионуклиды, содержание хлорированных углеводородов). Вторая часть обзора — инфекционным и паразитарным рискам, токсичным элементам (таблица 1).

Результаты и обсуждение / Results and discussion Часть 1.

Правовое регулирование добычи и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса зайцев в России и других странах мира

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» заяц отнесен к пушным охотничьим ресурсам¹¹. Другими нормативными документами, регулирующими охоту на зайца, являются приказ Минприроды России от 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты»¹² и приказ Минприроды России от 17.05.2010 № 164 «Об утверждении перечня видов охотничьих ресурсов, добыча которых осуществляется в соответствии с лимитами их добычи». Существуют определенные сроки добычи зайца, регулируемые на уровне субъектов Российской Федерации¹³.

Таблица 1. Структура научного обзора «Особенности и безопасность мяса зайцев»

Table 1. Structure of the scientific review «The properties and safety of hare meat»

Номер части	Наименование раздела научного обзора	примечание
1	1. Правовое регулирование добычи и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса зайцев в России и других странах мира	—
	2. Особенности мяса зайцев	
	3. Факторы, влияющие на качество и безопасность мяса зайцев	
	4. Радионуклиды и пестициды в мясе зайцев	
2	5. Инфекционные и паразитарные риски	Часть 2 будет опубликована в следующем номере журнала «Аграрная наука»
	6. Токсичные элементы в мясе зайца	

⁵ (URL: <https://www.elsevier.com/products/scopus>)

⁶ (URL: <https://elibrary.ru>)

⁷ (URL: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

⁸ (URL: <https://scholar.google.com>)

⁹ (URL: <https://www.sciencedirect.com>)

¹⁰ Ограничения включенных исследований: многие работы не учитывают изменения климата и миграции патогенов

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 24.07.2020 № 477 «Об утверждении Правил охоты»

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-zhivotnyh-rossii-v-2026-godu-po-regionam.html?ysclid=mo4kwhw2hf533366406>)

Обязательность проведения ветеринарно-санитарной экспертизы в отношении переработанной пищевой продукции животного происхождения регламентируется статьей 30 ТР ТС 021/2011¹⁴, 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»¹⁵. Специфика ветеринарно-санитарной экспертизы продукции промысловых диких животных, в т.ч. и зайца, обусловлена невозможностью проведения предубойного осмотра. В связи с этим ключевое значение приобретают послеубойное исследование туш и внутренних органов, а также лабораторный контроль [21].

В США охота на зайца (в рамках «small game») регулируется на уровне штатов. Мясо дичи предназначено для личного потребления. Каждый штат самостоятельно устанавливает сезоны, лимиты и методы охоты через собственные Департаменты рыбных ресурсов и дикой природы. Федеральные законы определяют правила охоты на национальных территориях, таких как заповедники. Охота на землях, находящихся в ведении федеральных органов (например, Службы рыбных ресурсов и дикой природы США), регулируется Сводом федеральных нормативных актов (CFR). Для личного потребления ветеринарно-санитарная экспертиза не требуется^{16–18}. Ситуация в Канаде схожа с США: охота находится в ведении провинций и территорий. В данных странах заяц является распространённым объектом охоты¹⁹.

Регулирование охоты на зайца в странах ЕС осуществляется на уровне национального законодательства каждой страны-члена, но в рамках общих экологических директив, в частности Директиве о местообитаниях (92/43/ЕЭС)²⁰. В большинстве стран ЕС заяц является охотничьим видом, однако сезоны, квоты и методы охоты сильно различаются. Мясо подлежит послеубойному ветеринарному осмотру, а также обязательному исследованию на наличие личинок *Trichinella spp.* в соответствии с Регламентом (ЕС) 2015/1375²¹.

В Казахстане охота на зайца разрешена и 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 сезон²². На 2026–2027 год для охотников в резервном фонде охотничьих хозяйств установлен лимит на добычу 426 048 особей зайцев. Это один из самых высоких показателей среди всех видов животных (лимит на добычу кабана — 18 526 особей, лисицы — 61 598 особей)²³.

В Китае охота на зайцев для коммерческих или любительских целей практически полностью запрещена^{24, 25}.

Особенности мяса зайцев

Мясо зайцев имеет плотную консистенцию, низкую влажность и специфическую окраску от темно-красной до красно-фиолетовой. У молодых особей оно более нежное, напоминает крольчатину [22–24]. Мясо зайцев имеет тонкие мышечные волокна с мелкой поперечной зернистостью, слабо развитую соединительную ткань и при хорошей упитанности нежные внутримышечные жировые прослойки (мраморность). Подкожный жир накапливается на холке и в паховой области; он отличается низкой температурой плавления, что обеспечивает его легкое усвоение. [24].

Для мяса зайцев, как и для других промысловых видов, характерны мелковолоконность, однородность среза и низкая жирность. По химическому составу зайчатина близка к крольчатине, но содержит меньше жира, больше воды и экстрактивных веществ. Белок зайчатки усваивается организмом человека на 90%⁴ [25].

Мясо зайца-беляка характеризуется плотной консистенцией и наличием специфического сладковатого привкуса. Органолептические показатели зайчатки переменны и определяются комплексом факторов: возрастом животного, сезоном и способом добычи, качеством первичной обработки туши, а также условиями последующего хранения. Наивысшими пищевыми качествами обладает мясо особей не старше одного года, полученное от стреляных (хорошо обескровленных) животных, с немедленным

¹⁴ ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции"

¹⁵ 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»

¹⁶ (URL: <https://www.fws.gov/law/general-hunting-laws>)

¹⁷ (URL: <https://wgfd.wyo.gov/faq-category/small-game>)

¹⁸ How to hunt rabbit (URL: <https://myodfw.com/articles/how-hunt-rabbit>)

¹⁹ (URL: <https://www.ontario.ca/files/2025-03/mnr-2025-ontario-hunting-regulations-summary-en-2025-03-27.pdf>)

²⁰ Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31992L0043&qid=1751099632297>)

²¹ Commission Implementing Regulation (EU) 2015/1375 of 10 August 2015 laying down specific rules on official controls for *Trichinella* in meat (codification) (Text with EEA relevance) OJ L 212. 2015; 7–34. (URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2015/1375/oj/eng)

²² <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G26NP000026>

²³ В Казахстане установили лимиты на охоту на животных и птиц на новый сезон (URL: <https://www.zakon.kz/pravo/6508321-v-kazakhstane-ustanovili-limity-na-okhotu-na-zhivotnykh-i-ptits-na-novyy-sezon.html>)

²⁴ (URL: <https://nyncj.beijing.gov.cn/nyj/zwgk/zcgk/qtcw90/436435540/index.html>)

²⁵ (URL: <http://jxjxzf.gov.cn/jaxrmzf/zcwj86/202006/74427cde722f40aaac32426757613938.shtml>)

Таблица 2. Химический состав и пищевая ценность зайчатины и мяса кролика домашнего (содержание веществ на 100 г мяса)^{26, 27} [9, 11, 25, 26, 28–33]

Table 2. Chemical composition and nutritional value of hare and domestic rabbit meat (content of substances per 100 g of meat)^{26, 27} [9, 11, 25, 26, 28–33]

Показатель	Единица измерения	Заяц	Кролик домашний
Белки	г	13,5–23,8	17,5–21,2
Жиры	г	1,1–12,8	4,9–12,9
Углеводы	г	1,5–3,2	0,0
Влага	г	56,1–75,3	66,7–76,9
Зола	г	1,2–1,3	0,8–1,2
Калорийность	ккал	108,6–182,0	141,0–183,0
Холестерин	мг	62,7–90,0	40,0–90,0

Примечание: Разброс значений связан с различиями в регионах отбора (Россия, Европа, Азия), сезоне добычи и методиках анализа.

удалением внутренностей, реализуемое в свежем виде либо подвергнутое однократному замораживанию [26].

Особый интерес представляет сопоставление зайчатины и крольчатины (таблицы 2–4). Содержание исследуемых химических элементов в мясе зайцев варьирует в широких пределах. Тем не менее, при сопоставлении с крольчатой больше всего показателей демонстрирует близкие значения. Зайчатина отличается большей насыщенностью по набору микроэлементов [9, 27].

Данные разных авторов по химическому составу зайчатины существенно расходятся, что, вероятно, обусловлено различиями в регионах и сроках отбора проб материала.

Благодаря низкому содержанию жира и холестерина, высокой биологической ценности и нежности, диетологи рекомендуют включать ее в рацион при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, желудка, желчных путей, печени, аллергиях, а также при гипертонической болезни [9, 10].

Мясо зайцев содержит значительные концентрации эссенциальных макро- и микроэлементов (железа, фосфора, кобальта, калия, марганца, фтора) и при этом отличается низким уровнем солей натрия. Указанная особенность в совокупности с другими свойствами продукта (низкая жирность, высокая усвояемость белка) позволяет рекомендовать мясо зайцев для диетического питания⁴.

По витаминному профилю зайчатина незначительно уступает мясу домашнего кролика.

Среднее содержание незаменимых жирных кислот в мясе составляло 41,94%, а индекс полиненасыщенности — 6,09 [6]. Мясо зайца отличается более низким содержанием жира, меньшей энергетической ценностью и лучшими липидными санитарными индексами, что делает его более диетическим и полезным для здоровья по сравнению с крольчатой [33].

Таблица 3. Макро- и микроэлементы в мясе зайцев и кролика домашнего (содержание веществ на 100 г мяса)²⁵ [13, 25, 26, 28, 29, 34, 35]

Table 3. Macro- and microelements in the meat of hares and domestic rabbits (content of substances per 100 g of meat)²⁵ [13, 25, 26, 28, 29, 34, 35]

Показатель	Единица измерения	Заяц	Кролик домашний
Макроэлементы			
Калий	мг	271,4–335,0	319,3–457,6
Кальций	мг	20,0–20,6	18,8–24,0
Магний	мг	19,2–25,0	15,0–25,0
Натрий	мг	41,1–57,0	47,9–64,2
Сера	мг	140,5–225,0	225,0
Фосфор	мг	164,6–190,0	190,0
Хлор	мг	79,5–256,1	79,5
Микроэлементы			
Алюминий	мг	43,2	–
Железо	мг	2,1–5,9	3,3–3,5
Кремний	мг	0,05–0,16	–
Бор	мкг	13,1	–
Йод	мкг	4,9–5,0	5,0
Кобальт	мкг	10,3–16,2	16,2
Литий	мкг	0,2	–
Марганец	мкг	13,0–44,0	13,0
Медь	мкг	92,0–130,0	130,0
Молибден	мкг	4,5–5,1	4,5–5,0
Никель	мкг	0,8	–
Рубидий	мкг	15,1	–
Селен	мкг	0,04	–
Фтор	мкг	49,0–73,0	73,0–75,0
Хром	мкг	5,9–8,5	8,5–9,0
Цинк	мкг	1,52–2,31	2,31

Примечание: Разброс значений связан с различиями в регионах отбора (Россия, Европа, Азия), сезоне добычи и методиках анализа.

Таблица 4. Витамины в мясе зайцев и мяса кролика домашнего (содержание веществ на 100 г мяса)²⁵ [25, 26, 28, 29, 35]

Table 4. Vitamins in hare and domestic rabbit meat (content of substances per 100 g of meat)²⁵ [25, 26, 28, 29, 35]

Показатель	Единица измерения	Заяц	Кролик домашний
Витамин А	мг	0,01–0,30	0,01–0,1
Витамин В ₁	мг	0,06–0,12	0,09–0,12
Витамин В ₂	мг	0,11–0,18	0,18
Витамин В ₃	мг	86,3–115,6	115,6
Витамин В ₄	мг	0,1	0,8
Витамин В ₅	мг	0,3	0,5
Витамин В ₆	мкг	7,7–8,3	4,6–7,7
Витамин В ₇	мкг	2,5	4,3
Витамин В ₁₂	мкг	–	42,5
Витамин С	мг	0,8–1,5	0,8
Витамин D	мкг	–	1,5
Витамин Е	мг	0,4–0,5	0,5
Витамин Н	мг	0,7	–
Витамин РР	мг	4,9–6,2	6,2

Примечание: Разброс значений связан с различиями в регионах отбора (Россия, Европа, Азия), сезоне добычи и методиках анализа.

²⁶ Химический состав российских пищевых продуктов. Справочник, под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. М.: ДеЛи принт, 2002. 236 с.

²⁷ Тинаев Н.И. Продукция кролиководства. М.: Росагропромиздат, 1988; 96 с

Благодаря низкому содержанию жира зайчатина может быть рекомендована в составе диетотерапии ожирения и заболеваний гепатобилиарной системы. Мясо зайцев (как и кроликов) богато лецитином, что обеспечивает антиатеросклеротический эффект; его рекомендуют при язвенной болезни ЖКТ, анемии, болезнях сердца, почек и гипертонии [24, 33].

Факторы, влияющие на качество и безопасность мяса зайцев

Предубойное исследование диких промысловых животных (в т.ч. зайцев) невозможно, поэтому данная стадия исключена из ветеринарно-санитарной экспертизы. Ее отсутствие компенсируется знанием эпизоотической обстановки в регионе, систематическим наблюдением за животными в природе и опросом охотников. Основным методом оценки качества и ветеринарно-санитарного состояния туш (тушек) и органов диких животных выступает послеубойный осмотр. Методика и техника основывается на действующих правилах экспертизы продуктов убоя сельскохозяйственных животных. Послеубойный осмотр зайца соответствует осмотру домашнего кролика²⁸ [21].

Неполное обескровливание (особенно при капканном и петлевом способах добычи) ухудшает качество зайчатины: мясо темнеет, появляется неприятный привкус. Рекомендуется у стреляных зайцев добиваться более полного обескровливания и хранить туши в закрытых ящиках или полиэтиленовых мешках. Тушки добытых зайцев сразу же надо освободить от мочи^{4, 27} [21].

В таблице 5 представлена органолептическая оценка разного по свежести мяса зайцев [22].

Возможные риски представляют обширные огнестрельные (или другого происхождения) ранения, переломы, сопровождающиеся кровоизлияниями, отеком легких, абсцессами и другие патологические изменения²⁷ [21].

Мясо зайцев подвержено риску при хранении сразу после добычи. Наиболее быстро портятся участки вокруг огнестрельных ран (загрязненных шерстью, землей, остатками костей). Поверхность туш сильно обсеменена микроорганизмами, включая гнилостные. Ускоренное гниение происходит при повреждении ЖКТ отстрелом или несвоевременном потрошении²⁷ [21, 23].

Радионуклиды и пестициды в мясе зайцев

Попадание радионуклидов в пищевую цепь человека вместе с их употреблением способствует их отложению в тканях организма, что может иметь долгосрочные последствия [36].

Исследование [37] показало, что у зайцев-беляков, добытых вблизи урановых рудников, концентрации радия-226 в костях (250 ± 94 мБк/г) значительно превышали таковые у зайцев с контрольных участков (20–30 мБк/г) и были не ниже предела обнаружения на удаленном контрольном участке. Концентрации свинца-210 и полония-210 достоверно не различались между группами, а накопления урана и тория отмечено не было.

Согласно исследованию [38], средний показатель цезия-137 в образцах, добытых в Якутии, составил 1.1 ± 0.3 Бк/кг, что не превышает санитарно-гигиенических норм.

Исследование [39] показало, что содержание цезия-137 в мышечной ткани зайца-русака из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (в среднем 4,29 кБк/кг) в 61 раз превышает уровень контрольного района (0,07 кБк/кг). Различия статистически достоверны ($p < 0,001$). Наибольшее накопление радионуклида отмечено в почках, а наименьшее — в легких, половых органах и шкуре. Полученные данные подтверждают, что заяц-русак может служить индикатором радиоактивного загрязнения территории, а высокие уровни цезия-137 в мышечной ткани животных из зон отчуждения и отселения указывают на необходимость радиологического контроля продукции охотничьего хозяйства на этих территориях.

Влияние пестицидов на популяции зайцев проявляется не только в прямой токсичности, но и в хронических эффектах, включая нарушение репродукции. Многие химические вещества и в небольших дозах могут ухудшать общее состояние животного, уменьшать его вес, приводить к биохимическим и морфологическим изменениям в организме, а часто даже к гибели животных в результате хронического отравления. Некоторые пестициды, в частности хлорорганические, негативно влияют на репродуктивные способности, что в конечном итоге резко снижает численность популяции животных, в т.ч. зайцев [40].

Таблица 5. Органолептические показатели мяса зайцев [22]

Table 5. Organoleptic properties of hare meat [22]

Категория	Внешний вид и цвет	Мышцы на разрезе	Запах	Консистенция
Свежее	Сухая корочка подсыхания, красный цвет мяса	Слегка влажные, темно-розового цвета	Приятный специфический	Плотная, ямка от надавливания восполняется быстро
Сомнительной свежести	Влажная, слегка корочка подсыхания, цвет темный; мясо более темного цвета	Влажные, красного цвета	Слегка кислый	Менее плотная, ямка восполняется в течение 1–2 мин
Несвежее	Корочка подсыхания более темного цвета, влажная липкая. Мясной сок мутный.	Влажные, темно-красного цвета	Слегка гнилостный, кислый	Рыхлая, ямка не выравнивается

²⁸ Боровков М.Ф., Фролов В.П., Серко С.А. Ветеринарно-санитарная экспертиза с основами технологии и стандартизации продуктов животноводства. СПб.: Лань, 2007.

Целью исследования [41] было получение данных о наличии, уровнях и корреляциях органических загрязнителей в организме зайца-русака ($n = 75$) в юго-западном регионе Словакии. Исследования включали дихлордифенилтрихлорэтан (далее по тексту — ДДТ), гексахлорбензол (далее по тексту — ГХБ), альфа- и бета-, гамма-гексахлорциклогексан (далее по тексту — ГХЦГ) и полихлорированные бифенилы (далее по тексту — ПХБ). ПХБ и ДДТ накапливались в значительном количестве ($0,105 \pm 0,059$ мг/кг; $0,070$ мг/кг) в жировых отложениях бурых зайцев; однако максимально допустимые пределы для наблюдаемых загрязнителей не были превышены. У взрослых животных были обнаружены значительно более высокие концентрации ДДТ, ГХБ, γ -ГХЦГ и ПХБ по сравнению с молодыми зайцами. Пол и сезон не влияли на накопление наблюдаемых загрязняющих веществ. Была обнаружена умеренно положительная корреляция между ПХБ и ДДТ ($r = 0,59$).

Исследование зайцев-русаков ($n = 100$) в Дании выявило присутствие 32 пестицидов/метаболитов в различных тканях и биологических жидкостях: наиболее часто в шкурке обнаруживались тебуконазол, боскалид и просульфокارب, в моче — глифосат, а в печени — метрафенон. Геометрические средние концентрации обнаруженных пестицидов были ниже 100 мкг/кг. Хотя уровни пестицидов были низкими, авторы не исключают их аддитивного эффекта в сочетании с другими факторами окружающей среды, что в долгосрочной перспективе может влиять на физиологию и продолжительность жизни зайцев [42].

В жировой ткани и почках зайцев из регионов интенсивного сельского хозяйства в Сербии обнаружили остатки пестицидов (включая ципродинил, дифеноконазол, тебуконазол, тиаметоксам) [43].

Исследование образцов печени зайцев ($n = 71$) не выявило фосфорорганических пестицидов,

хлорорганических пестицидов или полихлорированных бифенилов [31].

Выводы/Conclusion

Выводы по первой части обзора:

Зайчатина характеризуется высоким содержанием белка (13,5–23,8 г/100 г), низким уровнем жира (1,1–12,8 г/100 г) и холестерина (62,7–90 мг/100 г), а также богатым микроэлементным составом (Fe, Co, Mn, P), что подтверждает ее диетический потенциал. Однако широкий диапазон показателей указывает на сильную зависимость от региона, сезона и возраста животного.

В России, Казахстане и странах ЕС охота на зайцев разрешена и регламентирована, но обязательная ветеринарно-санитарная экспертиза мяса дичи после добычи отсутствует либо проводится не в полном объеме (исключение — контроль на трихинеллез в ЕС). Это создает риски для потребителей.

В зонах радиоактивного загрязнения (например, Чернобыльская АЭС, урановые рудники) в мышцах и костях зайцев обнаруживаются повышенные концентрации Cs-137 (до 4,29 кБк/кг) и Ra-226, что требует обязательного радиологического контроля продукции охоты на таких территориях.

В Словакии, Дании, Сербии в жировой ткани и паренхиматозных органах зайцев находят остатки хлорорганических пестицидов (ДДТ, ГХБ, ГХЦГ) и современных фунгицидов (тебуконазол, боскалид), хотя уровни в большинстве случаев не превышают ПДК. Отмечена положительная корреляция между возрастом животного и накоплением загрязнителей.

Часть 2 научного обзора будет опубликована в следующем номере журнала «Аграрная наука». Во второй части обзора проанализированы ключевые аспекты безопасности мяса зайцев: инфекционные и паразитарные риски, токсичные элементы.

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. 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>
2. Кудрявцев Т.В., Смирнов М.Н. К вопросу о рационализации использования ресурсов зайца-русака в охотничьих хозяйствах Хакасии и Юга Красноярского края. Сохранение разнообразия животных и охотничье хозяйство России. Материалы 3-й Международной научно-практической конференции. М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2009; 204–206. EDN WMERPT
3. Чугреев М.К., Ткачева И.С., Семенов В.В., Носова А.Р. Ресурсы зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) в Ярославской области. Интеграция науки, общества, производства и промышленности: проблемы и перспективы. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. Стерлитамак: Агентство международных исследований. 2021; 6–10. EDN OBISAQ
4. Царегородцева Е.В., Кabanova 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 QSBFC

REFERENCES

1. 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>
2. Kudryavtsev T.V., Smirnov M.N. On the issue of rationalization of the use of brown hare resources in hunting grounds of Khakassia and the south of Krasnoyarsk Krai. *Conservation of animal diversity and hunting industry in Russia. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. 2009; 204–206 (in Russian). EDN WMERPT
3. Chugreev M.K., Tkacheva I.S., Semenov V.V., Nosova A.R. Resources of the Mountain Hare (*Lepus timidus* L., 1758) in the Yaroslavl Region. *Integration of Science, Society, Production, and Industry: Problems and Prospects. Collection of articles based on the results of the International scientific and practical conference*. Sterlitamak: Agency of international research. 2021; 6–10 (in Russian). EDN OBISAQ
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 QSBFC

6. Frunză G., Ciobanu M.-M., Murariu O.C., Radu-Rusu R.-M., Boisteanu P.-C. The Fatty Acid Content, Health Lipid Indices, and Instrumental, Histological, and Sensory Quality of Hare Meat (*Lepus europaeus* Pallas). *Foods*. 2025; 14(2): 310. <https://doi.org/10.3390/foods14020310>
7. Chmielewski J., Gworek B. Health risk assessment of consuming European hare tissues used as an environmental bioindicator. *Journal of Elementology*. 2026; 31(1): 189–199. <https://doi.org/10.5601/jelem.2026.31.1.3761>
8. Mertin D., Slamečka J., Ondruška L., Zaujec K., Jurčík R., Gašparík J. Comparison of meat quality between European brown hare and domestic rabbit. *Slovak Journal of Animal Science*. 2012; 45(3): 89–95.
9. Катаева Д.Г. Химический состав мяса зайца в Дагестане. *Известия Дагестанского ГАУ*. 2019; (2): 202–204. EDN HBVKBC
10. Петрова Е.М., Решетникова А.И. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса зайца-беляка, добытого в Северной части Центральной Якутии. *Проблемы ветеринарии Республики Саха (Якутия). Сборник материалов научно-методической конференции факультета ветеринарной медицины. Якутск: СВФУ*. 2021; 49–51. EDN SHDJMD
11. Razmaitė V., Šiukščiū A. Effects of Sex and Hunting Season on Carcass and Meat Quality Characteristics of the Brown Hare (*Lepus europaeus*). *Foods*. 2023; 12(12): 2369. <https://doi.org/10.3390/foods12122369>
12. Piórkowski J., Flis M. The occurrence of parasitic invasion with *Taenia pisiformis* larvae and its influence on the individual condition of Brown hares (*Lepus europaeus* Pall. 1778). *Animal Science and Genetics*. 2025; 21(2): 53–64. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.1316>
13. Sergeev A., Rukavishnikova T. Contents of some trace elements in meat and organs of lagomorphs in Kirov region. *Modern problems of nature management, game management, and animal husbandry. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of All-Russian Research Institute of Hunting and Fur Farming*. Kirov: All-Russian Research Institute of Hunting and Fur Farming. 2007; 517–518.
14. Вилков В.С., Пашков С.В. Состояние популяций зайца-беляка (*Lepus timidus*) и зайца-русака (*L. europaeus*) в лесостепи Казахстана. *Экосистемы*. 2019; 20: 149–162. EDN NRFOWX
15. Чугреев М.К., Блохин Г.И., Моргунов Н.А., Ткачева И.С. Состояние ресурсов зайца-беляка (*Lepus timidus* L.) в Рязанской и Тульской областях. *Научная жизнь*. 2020; 15(9): 1285–1295. EDN QVOVFL
16. Tsokana C.N. et al. European Brown hare (*Lepus europaeus*) as a source of emerging and re-emerging pathogens of Public Health importance: A review. *Veterinary Medicine and Science*. 2020; 6(3): 550–564. <https://doi.org/10.1002/vms3.248>
17. Громов И.М., Ербаева М.А. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий: Зайцеобразные и грызуны. СПб.: ЗИН. 1995; 520.
18. Бурко Л.Д., Гричик В.В. Позвоночные животные Беларуси. Минск: БГУ. 2003; 373. EDN TRSBVD
19. Айрапетян В.Т., Минасян А.Д., Яйцкий А.С. Экология зайцев-русаков (*Lepus europaeus* Pallas, 1778), распространенных в фауне Нагорного Карабаха. *Самарский научный вестник*. 2023; 12(2): 14–18. <https://doi.org/10.55355/snv2023122101>
20. 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.
21. Лукин А.С. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса диких промысловых животных. Исследование их на трихинеллез. *Молодежь и наука*. 2021; (8). EDN ZTIICE
22. Малофеева Н.А. Ветеринарно-санитарная экспертиза зайчатины. *Мировые исследования в области естественных и технических наук. Материалы VI Международной научно-практической конференции*. Ставрополь: Параграф. 2023; 111–112. EDN QTYWBA
23. Малофеева Н.А., Петрова Ю.В., Редькин С.В. Ветеринарно-санитарная оценка продуктов убой диких промысловых животных и птицы при инфекционных болезнях. М.: ЗооВетКнига. 2020; 72. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z20-26>
24. Кузьмин Е.Б., Протопопова А.В., Пестерева Н.Л., Сидоров М.Н. Ветеринарная санитария экспертиза мяса зайца из Оймяконского улуса. *Чугуновские агроотчеты. Сборник научных статей по материалам XV Всероссийской научно-практической конференции агротехнологической направленности «Чугуновские агроотчеты-2023»*. Якутск: СВФУ. 2023; 197–201. EDN JGAEJH
25. Маньшин А.А. Кулинарное использование мяса дичи на предприятиях общественного питания. *Товароведно-технологические аспекты повышения качества и конкурентоспособности потребительских товаров. Материалы международной научно-практической конференции*. Курск. 2015; 39–42. EDN TXEVJN
26. Зарубин Б.Е., Економов А.В., Колесников В.В., Шевнина М.С., Сергеев А.А. Ресурсы зайца-беляка в Кировской области и их использование. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2021; (4): 87–102. <https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-4-87-102>
27. Атаев А.М., Катаева Д.Г. Биохимические показатели мяса зайца-русака в Дагестане. *Вестник ветеринарии*. 2012; (4): 169–170. EDN PJONDZ
28. Жидик И.Ю., Заболотных М.В. Биологическая ценность мяса кроликов породы серебристая при применении минеральной добавки цеолит природный Холинского месторождения. *Современные проблемы науки и образования*. 2014; (3): 823. EDN SYZWDR
29. Рулева Т.А. Крольчатина как диетический продукт. Ее химический состав и органолептические показатели. *Инновационная наука*. 2016; (3-4): 61–64. EDN VQBGNH
30. Татаринова З.Г. Показатели безопасности мяса зайца Центральной зоны Якутии. *Материалы научно-практической конференции, посвященной дню Российской науки*. Якутск: Академия. 2019; 76–79. EDN RJRPFH
31. Škrivanko M. et al. The hygiene and quality of hare meat (*Lepus europaeus* Pallas) from Eastern Croatia. *Archiv für Lebensmittelhygiene*. 2008; 59(5): 180–184. <https://doi.org/10.2376/0003-925X-59-180>
32. Haščík P., Fik M., Bučko O., Rajský M., Pavelkova A. Carcass characteristics, physicochemical properties, amino acid composition, and fatty acid profile of European brown hare (*Lepus europaeus*) meat. *SciFood*. 2026; 20(1): 210–226. <https://doi.org/10.5219/sciFood.112>
6. Frunză G., Ciobanu M.-M., Murariu O.C., Radu-Rusu R.-M., Boisteanu P.-C. The Fatty Acid Content, Health Lipid Indices, and Instrumental, Histological, and Sensory Quality of Hare Meat (*Lepus europaeus* Pallas). *Foods*. 2025; 14(2): 310. <https://doi.org/10.3390/foods14020310>
7. Chmielewski J., Gworek B. Health risk assessment of consuming European hare tissues used as an environmental bioindicator. *Journal of Elementology*. 2026; 31(1): 189–199. <https://doi.org/10.5601/jelem.2026.31.1.3761>
8. Mertin D., Slamečka J., Ondruška L., Zaujec K., Jurčík R., Gašparík J. Comparison of meat quality between European brown hare and domestic rabbit. *Slovak Journal of Animal Science*. 2012; 45(3): 89–95.
9. Kataeva D.G. Chemical composition of hare meat in Dagestan. *Dagestan GAU Proceedings*. 2019; (2): 202–204 (in Russian). EDN HBVKBC
10. Petrova Ye.M., Reshetnikova A.I. Veterinary and sanitary examination of mountain hare meat harvested in the northern part of Central Yakutia. *Problems of veterinary science of the Sakha Republic (Yakutia). Collection of materials of the scientific and methodological conference of the Faculty of Veterinary Medicine*. Yakutsk: North-Eastern Federal University. 2021; 49–51 (in Russian). EDN SHDJMD
11. Razmaitė V., Šiukščiū A. Effects of Sex and Hunting Season on Carcass and Meat Quality Characteristics of the Brown Hare (*Lepus europaeus*). *Foods*. 2023; 12(12): 2369. <https://doi.org/10.3390/foods12122369>
12. Piórkowski J., Flis M. The occurrence of parasitic invasion with *Taenia pisiformis* larvae and its influence on the individual condition of Brown hares (*Lepus europaeus* Pall. 1778). *Animal Science and Genetics*. 2025; 21(2): 53–64. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.1316>
13. Sergeev A., Rukavishnikova T. Contents of some trace elements in meat and organs of lagomorphs in Kirov region. *Modern problems of nature management, game management, and animal husbandry. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of All-Russian Research Institute of Hunting and Fur Farming*. Kirov: All-Russian Research Institute of Hunting and Fur Farming. 2007; 517–518.
14. Vilkov V.S., Pashkov S.V. THE State of the populations of white hare (*Lepus timidus*) and hare (*L. europaeus*) in the forest-steppe of Kazakhstan. *Ekosistemy*. 2019; 20: 149–162 (in Russian). EDN NRFOWX
15. Chugreev M.K., Blokhin G.I., Morgunov N.A., Tkacheva I.S. Arctic hare (*Lepus timidus* L.) resource situation in the Ryzan and Tula regions. *Scientific life*. 2020; 15(9): 1285–1295 (in Russian). EDN QVOVFL
16. Tsokana C.N. et al. European Brown hare (*Lepus europaeus*) as a source of emerging and re-emerging pathogens of Public Health importance: A review. *Veterinary Medicine and Science*. 2020; 6(3): 550–564. <https://doi.org/10.1002/vms3.248>
17. Gromov I.M., Yerbayeva M.A. The mammals of Russia and adjacent territories. Lagomorphs and rodents. St. Petersburg: Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. 1995; 520 (in Russian).
18. Burko L.D., Grichik V.V. Vertebrates of Belarus. Минск: Belarusian State University. 2003; 373 (in Russian). EDN TRSBVD
19. Hayrapetyan V.T., Minasyan H.J., Yaitsky A.S. The ecology of *Lepus europaeus* Pallas, 1778 common in the fauna of the Nagorno Karabakh. *Samara Journal of Science*. 2023; 12(2): 14–18 (in Russian). <https://doi.org/10.55355/snv2023122101>
20. Trukhina T.I., Samsonenko I.A. Spread of trichinellosis in the Far East. *Problems of veterinary medicine and zoocology of the Russian and Asian-Pacific regions. Proceedings of the First International scientific and practical conference*. Blagoveshchensk. 2012; 131–134 (in Russian).
21. 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
22. Malofeeva N.A. Veterinary and sanitary examination of hares. *WORLD Research in the Field of Natural and Technical Sciences. Materials of the VI International scientific and practical conference*. Stavropol: Paragraph. 2023; 111–112 (in Russian). EDN QTYWBA
23. Malofeeva N.A., Petrova Yu.V., Red'kin S.V. Veterinary and sanitary assessment of slaughter products of wild game animals and poultry for infectious diseases. Moscow: ZooVetKniga. 2020; 72 (in Russian). <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z20-26>
24. Kuz'min E.B., Protopopova A.V., Pestereva N.L., Sidorov M.N. Veterinary sanitary examination of hare meat from the Oymyakon Uls. *Chugunov Agro-Readings. Collection of scientific articles based on the Proceedings of the 15th All-Russian scientific and practical conference on agrotechnology "Chugunov Agro-Readings-2023"*. Yakutsk: North-Eastern Federal University. 2023; 197–201 (in Russian). EDN JGAEJH
25. Man'shin A.A. Culinary use of game meat in catering establishments. *Commodity science and technological aspects of improving the quality and competitiveness of consumer goods. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Kursk. 2015; 39–42 (in Russian). EDN TXEVJN
26. Zarubin B.E., Ekonomov A.V., Kolesnikov V.V., Shevnina M.S., Sergeev A.A. The resources of mountain hare in the Kirov region and their use. *Far Eastern Agrarian Herald*. 2021; (4): 87–102 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-4-87-102>
27. Ataev A.M., Kataeva D.G. Biochemical indices for the meat of a hare from Dagestan. *Vestnik veterinarii*. 2012; (4): 169–170 (in Russian). EDN PJONDZ
28. Zhidik I.Yu., Zabolotnykh M.V. Biological value of silver rabbit's meat fed with mineral additive zeolite natural by Kholinsk deposit. *Modern Problems of Science and Education*. 2014; (3): 823 (in Russian). EDN SYZWDR
29. Ruleva T.A. Rabbit meat as a dietary product. Its chemical composition and organoleptic properties. *Innovation science*. 2016; (3-4): 61–64 (in Russian). EDN VQBGNH
30. Tatarinova Z.G. Safety indicators of hare meat from the central zone of Yakutia. *Proceedings of the scientific and practical conference dedicated to Russian Science Day*. Yakutsk: Akademiya. 2019; 76–79 (in Russian). EDN RJRPFH
31. Škrivanko M. et al. The hygiene and quality of hare meat (*Lepus europaeus* Pallas) from Eastern Croatia. *Archiv für Lebensmittelhygiene*. 2008; 59(5): 180–184. <https://doi.org/10.2376/0003-925X-59-180>
32. Haščík P., Fik M., Bučko O., Rajský M., Pavelkova A. Carcass characteristics, physicochemical properties, amino acid composition, and fatty acid profile of European brown hare (*Lepus europaeus*) meat. *SciFood*. 2026; 20(1): 210–226. <https://doi.org/10.5219/sciFood.112>

33. Frunză G., Murariu O.C., Ciobanu M.-M., Radu-Rusu R.-M., Simeanu D., Boișteanu P.-C. Meat Quality in Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and Hare (*Lepus europaeus* Pallas)—A Nutritional and Technological Perspective. *Agriculture*. 2023; 13(1): 126. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010126>
34. Кочкарев П.В., Кошурникова М.А., Сергеев А.А., Ширяев В.В. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) на севере Красноярского края. *Техника и технология пищевых производств*. 2023; 53(2): 217–230. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436>
35. Жвакина А.Р., Тинаев Н.И. Содержание витаминов, макроэлементов и токсичных веществ в мякоти тушек гибридного и чистопородного молодняка кроликов. *Всё о мясе*. 2017; (5): 19–21. EDN ZNLJMJ
36. Piñero-García F., Thomas R., Mantero J., Forssell-Aronsson E., Isaksson M. Concentration of radionuclides in Swedish market basket and its radiological implications. *Food Control*. 2022; 133(B): 108658. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108658>
37. Clulow F.V., Davé N.K., Lim T.P., Cloutier N.R. U- and Th-series radionuclides in snowshoe hare (*Lepus americanus*) taken near U mill tailings close to Elliot Lake, Ontario, Canada. *Environmental Pollution*. 1996; 94(3): 273–281. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00109-1)
38. Собакин П.И., Захаров Е.С., Сафронов В.М. Глобальное загрязнение территории Якутии ¹³⁷Cs и его содержание в кормах и тканях охотничьих животных. *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2021; (4): 435–443. <https://doi.org/10.31857/S1026347021040147>
39. Гулаков А.В. Распределение ¹³⁷Cs в организме зайца-русака, обитающего на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения. *Вестник Днепродзержинского университета. Биология, экология*. 2009; 17(3): 14–19. EDN QATLXP
40. Федюшко М.П. Вплив пестицидів на чисельність зайця-русака в Північному Приазов'ї. *Біологічний вестник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького*. 2013; (2): 289–295. EDN RBZILH
41. Slamecka J. et al. The occurrence and dynamics of polychlorinated hydrocarbons in brown hare (*Lepus europaeus*) in south-western Slovakia. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 2012; 47(9): 1217–1223. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.672068>
42. Hakme E. et al. Exposure of European hares (*Lepus europaeus*) to pesticides in Danish agricultural areas. *Environmental Pollution*. 2025; 381: 126597. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126597>
43. Beuković D. et al. The pesticide in brown hare adipose tissue as consequence of anthropogenic factors. *Proceedings of International Symposium on Animal Science 2018 (ISAS)*. Belgrade: University of Belgrade. 2018; 69–74.
43. Frunză G., Murariu O.C., Ciobanu M.-M., Radu-Rusu R.-M., Simeanu D., Boișteanu P.-C. Meat Quality in Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and Hare (*Lepus europaeus* Pallas)—A Nutritional and Technological Perspective. *Agriculture*. 2023; 13(1): 126. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010126>
34. Kochkarev P.V., Koshurnikova M.A., Sergeyev A.A., Shiryayev V.V. Trace Elements in the Meat and Internal Organs of the Mountain Hare (*Lepus timidus* L., 1758) in the North of the Krasnoyarsk Region. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023; 53(2): 217–230 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436>
35. Zhvakina A.R., Tinaev N.I. The content of vitamins, macroelements and toxic substances in the flesh of carcasses of hybrid and purebred rabbits. *Vsyo o myase*. 2017; (5): 19–21 (in Russian). EDN: ZNLJMJ
36. Piñero-García F., Thomas R., Mantero J., Forssell-Aronsson E., Isaksson M. Concentration of radionuclides in Swedish market basket and its radiological implications. *Food Control*. 2022; 133(B): 108658. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108658>
37. Clulow F.V., Davé N.K., Lim T.P., Cloutier N.R. U- and Th-series radionuclides in snowshoe hare (*Lepus americanus*) taken near U mill tailings close to Elliot Lake, Ontario, Canada. *Environmental Pollution*. 1996; 94(3): 273–281. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00109-1)
38. Sobakin P.I., Zakharov E.S., Safronov V.M. Global ¹³⁷Cs Pollution of the Territory of Yakutia and Content in the Feed and Tissue of Wild Game. *Biology Bulletin*. 2021; 48(4): 506–513. <https://doi.org/10.1134/S1062359021040142>
39. Gulakov A.V. Distribution of ¹³⁷Cs in the brown hare's body, at the territory of various radioactive pollution. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 2009; 17(3): 14–19 (in Russian). EDN QATLXP
40. Fediushko M.P. Impact of pesticides on the abundance of European hare in the Northern Azov Sea region. *Biological bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 2013; (2): 289–295 (in Ukrainian). EDN RBZILH
41. Slamecka J. et al. The occurrence and dynamics of polychlorinated hydrocarbons in brown hare (*Lepus europaeus*) in south-western Slovakia. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 2012; 47(9): 1217–1223. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.672068>
42. Hakme E. et al. Exposure of European hares (*Lepus europaeus*) to pesticides in Danish agricultural areas. *Environmental Pollution*. 2025; 381: 126597. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126597>
43. Beuković D. et al. The pesticide in brown hare adipose tissue as consequence of anthropogenic factors. *Proceedings of International Symposium on Animal Science 2018 (ISAS)*. Belgrade: University of Belgrade. 2018; 69–74.

ОБ АВТОРАХ

Ярослав Максимович Ребезов¹

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

Максим Борисович Ребезов²

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

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

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

ABOUT THE AUTHORS

Yaroslav Maksimovich Rebezov¹

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

Maksim Borisovich Rebezov²

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

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

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

УДК 631.171, 636.2.034, 621.397.424.2

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-62-68

Д.Ю. Павкин

С.С. Юрочка

А.Р. Хакимов

С.О. Базаев

В.Р. Тарасов

И.Г. Ершова ✉

Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Россия

✉ eig85@yandex.ru

Поступила в редакцию: 21.08.2026

Одобрена после рецензирования: 07.09.2026

Принята к публикации: 21.09.2026

© Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р.,
Базаев С.О., Тарасов В.Р., Ершова И.Г.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-62-68

Dmitry Yu. Pavkin

Sergey S. Yurochka

Artem R. Khakimov

Savr O. Bazaev

Vladislav R. Tarasov

Irina G. Ershova ✉

Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

✉ eig85@yandex.ru

Received by the editorial office: 21.08.2026

Accepted in revised: 07.09.2026

Accepted for publication: 21.09.2026

© Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., A.R.
Khakimov, Bazaev S.O., Tarasov V.R.,
Ershova I.G.

Бюджет времени молочной коровы для бесконтактного мониторинга состояния здоровья

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены возможности использования систем видеонаблюдения для бесконтактного мониторинга поведения коров в условиях молочного комплекса. Целью исследования являлась систематизация данных о суточном бюджете времени коров при привязном содержании и определение ориентировочных значений основных поведенческих актов, пригодных для задач автоматизированного мониторинга состояния животных. Исследование включало анализ научной литературы и собственные наблюдения за суточным поведением 254 коров черно-пестрой породы, распределенных по трем производственным группам: лактирующие коровы, коровы первой лактации и молодняк. Для сравнительного анализа были отобраны 41 публикация, содержащая количественные данные по отдыху, кормлению, поению, жвачке и двигательной активности.

По результатам сопоставления литературных и собственных данных установлено, что наибольшее значение в структуре суточного бюджета времени коров имеют отдых, кормление, жвачка, поение и двигательная активность. Выявлены различия между опубликованными и собственными данными по отдельным формам активности, что позволило определить ориентировочные интервалы показателей бюджета времени для различных групп животных. По результатам сопоставления литературных и собственных данных сформирована таблица ориентировочных изменений показателей бюджета времени, которые могут рассматриваться как поведенческие признаки неблагополучия животного. Полученные результаты представляют интерес для разработки систем автоматизированного видеомониторинга и требуют дальнейшей проверки в условиях клинически подтвержденных наблюдений.

Ключевые слова: корова, бюджет времени, автоматизированное молочное животноводство, мониторинг, поведение коров, видеонаблюдение

Для цитирования: Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Базаев С.О., Тарасов В.Р., Ершова И.Г. Бюджет времени молочной коровы для бесконтактного мониторинга состояния здоровья. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 62–68.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-62-68>

Cow time budget for non-contact health

ABSTRACT

The article examines the potential of video surveillance systems for contactless monitoring of cow behavior under dairy farm conditions. The aim of the study was to systematize data on the daily time budget of tethered cows and to determine approximate values of the main behavioral acts suitable for automated animal condition monitoring. The study included an analysis of scientific literature and the authors' own observations of the daily behavior of 254 Black-and-White cows divided into three production groups: lactating cows, first-lactation cows, and young stock. For the comparative analysis, 41 publications containing quantitative data on rest, feeding, drinking, rumination, and locomotor activity were selected.

Based on the comparison of published and original data, it was found that the most significant components in the structure of the daily time budget of cows are rest, feeding, rumination, drinking, and locomotor activity. Differences between published and original data were identified for certain activity types, which made it possible to determine approximate ranges of time-budget indicators for different animal groups. Based on the comparison of published and original data, a table of approximate changes in time-budget indicators was compiled; these changes may be considered behavioral signs of animal distress. The obtained results are of interest for the development of automated video monitoring systems and require further verification under clinically confirmed observation conditions.

Key words: cows, time budget, automated dairy farming, monitoring, cow behavior, video surveillance

For citation: Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Khakimov A.R., Bazaev S.O., Tarasov V.R., Ershova I.G. Cow time budget for non-contact health. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 62–68 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-62-68>

Введение/Introduction

Цифровизация и автоматизация являются важными направлениями развития современного сельского хозяйства [1, 2]. В молочном животноводстве внедрение технологий точного мониторинга рассматривается как средство повышения эффективности управления стадом [3]. Применение автоматизированных систем в молочном животноводстве способствует снижению трудоемкости производственного контроля и расширяет возможности наблюдения за состоянием животных [4].

В условиях высокотехнологичного молочного производства особое значение приобретает непрерывный мониторинг поведения и состояния животных. Для этой цели применяют сенсорные системы и носимые устройства, позволяющие регистрировать физиологические и поведенческие показатели животных [5, 6]. Для анализа поведения в помещениях используют беспроводное отслеживание и средства радиочастотной идентификации [7–9].

Наряду с сенсорными системами в последние годы развиваются методы бесконтактного мониторинга, основанные на анализе звука [10]. Автоматическое распознавание звуковых сигналов позволяет регистрировать отдельные элементы пищевого поведения молочных коров [11]. Это расширяет возможности применения технологий компьютерного зрения и других бесконтактных методов в задачах наблюдения за поведением крупного рогатого скота.

Подходы точного животноводства рассматриваются как инструмент автоматизированного мониторинга поведения и состояния животных в реальном времени [12]. Системы технического зрения применяются в задачах наблюдения за крупным рогатым скотом и анализа поведенческих признаков животных [13]. Видеонаблюдение представляет интерес как бесконтактный способ регистрации признаков, потенциально связанных с благополучием коров [14].

Одним из информативных подходов к оценке благополучия животных является анализ их поведения. Под суточным бюджетом времени коровы в настоящей работе понимается распределение времени в течение суток между основными формами поведенческой активности животного. В этологии животных термин «бюджет времени» используется для описания структуры суточной активности особи [15, 16]. В исследованиях молочных коров показатели суточного бюджета времени применяются для количественной характеристики поведения и оценки благополучия животных [17, 18].

Изменения отдельных элементов бюджета времени коров могут сопровождать различные состояния благополучия животных. Так, при хромоте обычно изменяются двигательная активность, продолжительность отдыха и характер перемещений коровы [19, 20]. При мастите информативными

могут быть изменения общей активности животного и поведения во время доения [21, 22]. Для кетоза описана связь между нарушениями обмена веществ, снижением активности и изменениями локомоторного поведения коров [23, 24]. Тепловой стресс сопровождается изменением двигательной активности, потребления воды и продолжительности отдыха коров [25, 26].

Поведенческие признаки используются при оценке репродуктивного состояния животных, поскольку изменения активности, частоты вставаний и других элементов поведения могут быть связаны с проявлениями половой охоты и нарушениями воспроизводства [27, 28]. Потребление корма также рассматривается как важный индикатор неблагополучия животных, поскольку оно тесно связано с состоянием здоровья и обменом веществ коров [29, 30]. Структура суточного бюджета времени в значительной степени зависит от условий содержания, включая плотность размещения, характеристики стойл и состояние подстилки, которые влияют на продолжительность отдыха коров [31, 32].

Таким образом, систематизация литературных и собственных данных о суточном бюджете времени коров позволяет сформировать ориентировочные интервалы основных форм активности, пригодные для задач видеомониторинга.

Цель исследования — систематизировать данные о суточном бюджете времени коров при привязном содержании и определить ориентировочные показатели основных поведенческих актов, необходимые для задач бесконтактного мониторинга состояния животных.

Материал и методы исследования / Material and methods

Аналитическое исследование выполнено в 2024 г. на базе лаборатории цифровых систем мониторинга для животноводства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и включало два этапа: анализ научной литературы и собственные наблюдения за суточным поведением коров при привязном содержании.

Поиск публикаций проводили по базам данных Scopus, PubMed, CrossRef, eLibrary, Google Scholar и Web of Science за период с 1995 по 2024 гг. Поисковые запросы включали ключевые слова, связанные с бюджетом времени, поведением коров, мониторингом состояния животных, видеонаблюдением, точным молочным животноводством, здоровьем и кормлением.

Первоначальный поиск позволил сформировать исходный массив, включивший 481 публикацию. Столь широкий охват был обусловлен необходимостью максимально полно представить современные исследования поведенческой активности крупного рогатого скота и не упустить релевантные источники на этапе первичного скрининга.

Первый этап отбора был направлен на тематическую фильтрацию массива. Критериями

включения служили тематическое соответствие исследования задачам настоящей работы и наличие данных, относящихся к поведенческой активности коров. Обоснование данного этапа состояло в том, что значительная часть исходного массива относилась к смежным областям (физиология, продуктивность, здоровье животных), не затрагивая непосредственно параметры поведения. После тематической фильтрации в массив вошли 163 публикации, что позволило сузить выборку до работ, прямо соответствующих предмету исследования.

Второй этап предполагал отбор источников для сравнительного анализа. Основанием для включения служило наличие количественных данных о продолжительности основных поведенческих актов коров или молодняка крупного рогатого скота, сопоставимых с задачами исследования. В сравнительные таблицы включали только те публикации, в которых были представлены количественные данные по основным формам активности животных, сопоставимые с результатами собственных наблюдений по возрастной или производственной группе. Такой подход был необходим для обеспечения корректности межгрупповых и межлитературных сопоставлений и исключения описательных или качественных материалов, непригодных для прямого сравнения. Приоритет отдавали источникам, содержащим значения по отдыху, кормлению, поению, жвачке и двигательной активности, выраженные в минутах или временных интервалах в течение суток, поскольку именно эти показатели составляли основу собственных наблюдений и требовали единообразного формата представления.

На заключительном этапе учитывали релевантность публикаций, наличие количественных показателей по отдыху, кормлению, поению, жвачке и двигательной активности, а также пригодность данных для сопоставления с результатами собственных наблюдений. Совокупность этих критериев обеспечивала методическую однородность итоговой выборки и ее пригодность для сравнительного анализа. В итоговый массив включили 41 публикацию, что отражает баланс между шириной охвата литературы и строгостью требований к сопоставимости данных.

Схема последовательного отбора публикаций представлена на рисунке 1.

На втором этапе в период с 29.07.2024 по 19.08.2024 г. были проведены собственные наблюдения за суточным поведением 254 коров черно-пестрой породы при привязном содержании в научно-экспериментальном хозяйстве «Снегири» (Московская область, городской округ Истра, территориальный отдел Ермолинское). Сопоставление проводили между тремя производственными группами животных: 140 лактирующих коров, 54 коровы первой лактации и 60 голов молодняка. Под коровами первой лактации понимали животных после первого отела, под лактирующими

Рис. 1. Воронка поиска публикаций

Fig. 1. Publication search funnel



коровами — взрослых животных, находящихся на последующих лактациях. Группа молодняка рассматривалась обобщенно, без дополнительной детализации по возрастным подгруппам. Для группы молодняка сопоставление проводили без разделения по полу, поскольку в анализируемых публикациях основной акцент сделан на возрастных и технологических особенностях выращивания животных.

Для регистрации поведения и последующей обработки данных использовали следующее оборудование:

1. Смартфоны iPhone Xs (Apple, США), оснащенные двойной камерой 12 Мп;
2. Электронные таблицы Excel (Microsoft, США) для регистрации и систематизации наблюдений;
3. Трехсекционный штатив JBN Professional Tripod HD61819 (JBN, Китай) с регулируемой высотой от 70 до 190 см;
4. Облачную платформу Yandex Cloud (Yandex, Россия) для хранения видеоматериалов.

Организация наблюдений включала следующие этапы:

1. Установка двух смартфонов на штативах и подключение оборудования к источнику питания;
2. Регистрацию поведения осуществляли методом моментных наблюдений по видеозаписи с интервалом 10 минут, фиксируя для каждого временного интервала преобладающий тип поведения животного, на протяжении 24 часов. Выбранный интервал регистрации использовали для получения обобщенной характеристики суточной активности животных, а не для анализа кратковременных эпизодов поведения;
3. Сохранение видеозаписей для последующего просмотра и анализа поведения коров;
4. Внесение результатов наблюдений в электронную таблицу с указанием времени регистрации и типа поведения. Использованный подход позволяет получать обобщенную характеристику суточного поведения животных, однако не обеспечивает полной регистрации кратковременных поведенческих актов; в связи с этим полученные значения следует рассматривать как ориентировочные.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 2 представлена общая схема бюджета времени коровы, включающая движение, сон, поение, кормление, жвачку, стояние и доение.

По данным научной литературы, молочной корове требуется около 20–21 ч в сутки для реализации основных поведенческих потребностей [33]. В структуре суточного бюджета времени наибольшее значение имеют отдых, кормление, жвачка, поение и двигательная активность, продолжительность которых изменяется в зависимости от условий содержания и физиологического состояния животных [17, 18]. Следовательно, изменение продолжительности вышеуказанных активностей может использоваться как информативный показатель изменения состояния животного.

На основе литературных источников и собственных наблюдений были сопоставлены значения по отдыху, кормлению, поению, жвачке и двигательной активности, после чего рассчитаны ориентировочные средние интервалы по каждой форме поведения. Результаты сведены в таблицы 1–3.

Поскольку некоторые элементы суточного бюджета времени могут частично пересекаться во времени, суммарное арифметическое сложение всех показателей требует осторожной интерпретации. В сравнительный анализ не включали такие составляющие, как сон и доение, поскольку в большинстве использованных источников эти показатели представлены неполно или несопоставимо, что ограничивает возможность корректного сопоставления данных.

На основе данных таблицы 1 были созданы диаграммы (рис. 3).

На рисунке 3 видно, что наиболее заметные различия между сопоставляемыми источниками относятся к продолжительности отдыха лактирующих коров. Так, доля времени, приходящаяся на отдых, по данным Н.Н. Горбачевой, составляет 28%, тогда как по данным Н.С. Мотузко, Р. Гранта и собственных наблюдений этот показатель находится в диапазоне 44–49%. При этом по остальным основным формам активности значения, представленные Н.С. Мотузко, Р. Грантом и в собственных наблюдениях, характеризуются большей близостью. Это позволяет рассматривать их как ориентир при формировании

Рис. 2. Бюджет времени коровы

Fig. 2. Cow's time budget



Таблица 1. Сравнение показателей бюджета времени лактирующих коров [33–35]

Table 1. Comparison of time budget indicators in lactating cows [33–35]

Параметр бюджета времени, (мин) / среднее арифметическое	Горбачева Н.Н., Крисанов А.Ф., 2005	Мотузко Н.С., Никитин Ю.И., 2003	Собственные данные. Лактирующая корова	Грант Р., Минер В., 2009
движение	63–70 /66,5	48–55 /51,5	120–150 /135	150–210 /180
отдых	325–438 /381,5	664–774 /719	700–800 /750	720–840 /780
питье	7–9 /8	5–7 /6	20–40 /30	30
еда	382–424 /403	275–336 /305,5	200–400 /300	180–300 /240
жвачка	442–565 /503,5	240–540 /390	400–600 /500	420–600 /510

Рис. 3. Круговые диаграммы показателей бюджета времени лактирующих коров

Fig. 3. Pie charts of time budget indicators in lactating cows



обобщенных интервалов бюджета времени лактирующих коров.

В ходе анализа данных таблицы 2 составлены диаграммы (рис. 4).

На рисунке 4 видно, что существенных противоречий между сопоставляемыми показателями бюджета времени коров первой лактации не наблюдается. Наиболее близкими оказываются значения по двигательной активности и отдыху. Вместе с тем возможности интерпретации результатов ограничены тем, что две из трех сопоставляемых выборок представлены в рамках одного исследования [36]. По этой причине полученные различия следует рассматривать как ориентировочные.

При анализе данных из таблицы 3 были построены диаграммы, представленные на рисунке 5, как способ визуализации распределения времени молодняка сельскохозяйственных животных по различным видам деятельности.

На рисунке 5 показано, что у молодняка различия между сопоставляемыми источниками наиболее выражены по двигательной активности, жвачке и приему корма. Так, доля времени, приходящаяся на движение, составляет 5% по данным Т.А. Мироновой, 10% по собственным наблюдениям и 20% по данным Р.А. Улимбашевой. По жвачке соответствующие значения составляют 32, 29 и 12%, а по приему корма — 31, 17 и 12%. Выявленные расхождения указывают на высокую вариабельность показателей у молодняка и ограничивают возможность использования единых ориентиров без учета возраста, породы и условий выращивания.

Современные бесконтактные технологии рассматриваются как перспективный инструмент регистрации поведенческих и физиологических признаков неблагополучия животных [39–41].

Таблица 4 составлена на основе литературных данных о поведенческих изменениях при различных состояниях неблагополучия животных и сопоставлена с ориентировочными значениями, определенными по результатам собственных наблюдений, и анализа опубликованных данных.

Таблица 2. Сравнение показателей бюджета времени коров первой лактации [36]

Table 2. Comparison of time budget indicators in first-lactation cows [36]

Параметр бюджета времени (мин)/среднее арифметическое	Собственные данные (коровы первой лактации)	Николаева С.В. 2012 (голландины)	Николаева С.В. 2012 (айширы)
движение	110–150 / 130	118,4	139,5
отдых	600–650 / 625	650,5	627,5
питье	20–30 / 25	266,3	257,8
еда	250–280 / 265		
жвачка	300–400 / 350	839	756,3

Рис. 4. Круговые диаграммы показателей бюджета времени коров первой лактации

Fig. 4. Pie charts of time budget indicators in first-lactation cows



Таблица 3. Сравнение показателей бюджета времени молодняка без учета породы [37, 38]

Table 3. Comparison of time budget indicators in young animals without regard to breed [37, 38]

Параметр бюджета времени (мин)/среднее арифметическое	Собственные данные Молодняк	Улимбашева Р.А., 2018 г.	Миронова Т.А., Апыхтин Н.Н., 2021 г.
движение	100–420 / 260	331 ± 4,99	68,04 ± 2,5
отдых	650–900 / 775	919 ± 10,94	385,88 ± 10,8
питье	30–60 / 45	190 ± 5,97	27,60 ± 2,1
еда	200–260 / 230		389,22 ± 18,0
жвачка	250–360 / 305	203 ± 5,15	408,67 ± 21,3

Рис. 5. Круговые диаграммы показателей бюджета времени молодняка

Fig. 5. Pie charts of time budget indicators in young animals

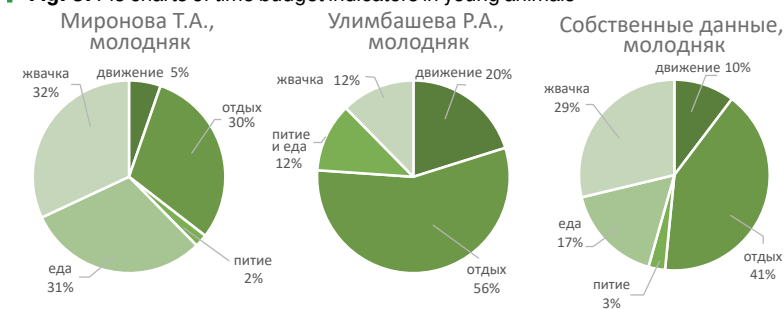


Таблица 4. Ориентировочные изменения показателей бюджета времени, связанные с неблагополучием животного [39–41]

Table 4. Approximate changes in time budget indicators associated with animal welfare problems [39–41]

Состояние коровы	Движение (мин)	Отдых (мин)	Питье (мин)	Еда (мин)	Жвачка (мин)
Норма	135	750	30	300	500
Хромота	X < 135	X > 750	–	X < 300	–
Мастит	X < 135	X > 750	–	X < 300	X < 500
Кетоз	X < 135	X > 750	–	X < 300	X < 500
Тепловой стресс	X < 135	X < 750	X > 30	–	–
Инфекционные заболевания	X < 135	X > 750	X > 30	X < 300	–
Репродуктивные проблемы	X > 135	X > 750	X < 30	X < 300	–
Пищеварительные расстройства	X < 135	X > 750	X > 30	X < 300	X > 500 / X < 500
Стресс и дискомфорт	X > 135	X < 750	X < 30	X < 300	X < 500

Примечание: X — показатель, полученный при мониторинге животного

Представленные в таблице отклонения не являются самостоятельными диагностическими критериями заболевания, однако могут рассматриваться как ориентировочные поведенческие признаки неблагополучия животного и использоваться в системах автоматизированного мониторинга.

Выводы/Conclusion

Установлено, что показатели суточного бюджета времени коров могут использоваться как информативная основа для бесконтактного мониторинга состояния животных при привязном содержании. Показано, что изменения двигательной активности, отдыха, поения, кормления и жвачки

сопровождают состояния неблагополучия животных, включая хромоту, мастит, кетоз, тепловой стресс, инфекционные заболевания, репродуктивные нарушения, пищеварительные расстройства, стресс и дискомфорт. В результате сопоставления литературных данных и собственных наблюдений определены ориентировочные значения суточного бюджета времени здоровой коровы, мин: движение — 135, отдых — 750, поение — 30, кормление — 300, жвачка — 500. Полученные значения могут быть использованы при разработке систем автоматизированного видеомониторинга как референсные ориентиры для оценки поведенческих отклонений.

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 объявляют 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. Zhang Y. *et al.* Progress of Machine Vision Technologies in Intelligent Dairy Farming. *Applied Sciences*. 2023; 13(12): 7052. <https://doi.org/10.3390/app13127052>
2. Ценц Ю.С. Научнотехнический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Bianchi M.C. *et al.* Diffusion of precision livestock farming technologies in dairy cattle farms. *Animal*. 2022; 16(11): 100650. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100650>
4. Jacobs J.A., Siegford J.M. *Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. Journal of Dairy Science*. 2012; 95(5): 2227–2247. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4943>
5. Neethirajan S., Tuteja S.K., Huang S.-T., Kelton D. Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. *Biosensors and Bioelectronics*. 2017; 98: 398–407. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.07.015>
6. Alipio M., Villena M.L. Intelligent wearable devices and biosensors for monitoring cattle health conditions: A review and classification. *Smart Health*. 2023; 27: 100369. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2022.100369>
7. Asikainen M., Haataja K., Toivonen P. Wireless tracking of livestock indoors for behavioral analysis. *9th International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*. IEEE. 2013; 1833–1838. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2013.6583835>
8. Wang S.H. *et al.* Application of radio frequency identification technology in dairy farm management. *Taiwanese Animal Husbandry*. 2014; 47: 251–260.
9. Fromm K., Heinicke J., Ammon C., Amon T., Hoffmann G. Performance of a UHF RFID Detection System to Assess Activity Levels and Lying Behaviour in Fattening Bulls. *AgriEngineering*. 2024; 6(2): 1886–1897. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020110>
10. Celotti J.O. *et al.* An online method for estimating grazing and rumination bouts using acoustic signals in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 173: 105443. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105443>
11. Li G., Xiong Y., Du Q., Shi Z., Gates R.S. Classifying Ingestive Behavior of Dairy Cows via Automatic Sound Recognition. *Sensors*. 2021; 21(15): 5231. <https://doi.org/10.3390/s21155231>
12. Tullo E., Finzi A., Guarino M. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*. 2019; 650(2): 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
13. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Кирюшин И.А. Применение систем технического зрения для диагностики качества кормов КРС. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(5): 770–776. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.770-776>
14. Liu N., Qi J., An X., Wang Y. A Review on Information Technologies Applicable to Precision Dairy Farming: Focus on Behavior, Health Monitoring, and the Precise Feeding of Dairy Cows. *Agriculture*. 2023; 13(10): 1858. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101858>
15. Долник В.Р. Изучение поведения животных с помощью анализа их бюджетов времени и энергии. *Русский орнитологический журнал*. 2004; 13(249): 22–32. EDN IBZCXF
16. Москвитина Н.С. и др. Методическое пособие к выполнению самостоятельных работ учебной спецпрактики по зоологии позвоночных. Томск: Томский государственный университет. 2018; 83.
17. Gomez A., Cook N.B. Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(12): 5772–5781. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3436>
18. Leliveld L.M.C., Riva E., Mattachini G., Finzi A., Lovarelli D., Provolo G. Dairy Cow Behavior Is Affected by Period, Time of Day and Housing. *Animals*. 2022; 12(4): 512. <https://doi.org/10.3390/ani12040512>
19. Mellado M. *et al.* The effect of lameness-causing lesions on milk yield and fertility of primiparous Holstein cows in a hot environment. *Livestock Science*. 2018; 217: 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.008>
20. Kang X., Zhang X.D., Liu G. Accurate detection of lameness in dairy cattle with computer vision: A new and individualized detection strategy based on the analysis of the supporting phase. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(11): 10628–10638. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18288>

REFERENCES

1. Zhang Y. *et al.* Progress of Machine Vision Technologies in Intelligent Dairy Farming. *Applied Sciences*. 2023; 13(12): 7052. <https://doi.org/10.3390/app13127052>
2. Tsench Yu. S. Scientific and Technological Potential as the Main Factor for Agricultural Mechanization Development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(2): 4–13 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Bianchi M.C. *et al.* Diffusion of precision livestock farming technologies in dairy cattle farms. *Animal*. 2022; 16(11): 100650. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100650>
4. Jacobs J.A., Siegford J.M. *Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. Journal of Dairy Science*. 2012; 95(5): 2227–2247. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4943>
5. Neethirajan S., Tuteja S.K., Huang S.-T., Kelton D. Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. *Biosensors and Bioelectronics*. 2017; 98: 398–407. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.07.015>
6. Alipio M., Villena M.L. Intelligent wearable devices and biosensors for monitoring cattle health conditions: A review and classification. *Smart Health*. 2023; 27: 100369. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2022.100369>
7. Asikainen M., Haataja K., Toivonen P. Wireless tracking of livestock indoors for behavioral analysis. *9th International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*. IEEE. 2013; 1833–1838. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2013.6583835>
8. Wang S.H. *et al.* Application of radio frequency identification technology in dairy farm management. *Taiwanese Animal Husbandry*. 2014; 47: 251–260.
9. Fromm K., Heinicke J., Ammon C., Amon T., Hoffmann G. Performance of a UHF RFID Detection System to Assess Activity Levels and Lying Behaviour in Fattening Bulls. *AgriEngineering*. 2024; 6(2): 1886–1897. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020110>
10. Celotti J.O. *et al.* An online method for estimating grazing and rumination bouts using acoustic signals in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 173: 105443. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105443>
11. Li G., Xiong Y., Du Q., Shi Z., Gates R.S. Classifying Ingestive Behavior of Dairy Cows via Automatic Sound Recognition. *Sensors*. 2021; 21(15): 5231. <https://doi.org/10.3390/s21155231>
12. Tullo E., Finzi A., Guarino M. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*. 2019; 650(2): 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
13. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Kiryushin I.A. Application of technical vision systems for diagnosing the quality of cattle feed. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(5): 770–776 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.770-776>
14. Liu N., Qi J., An X., Wang Y. A Review on Information Technologies Applicable to Precision Dairy Farming: Focus on Behavior, Health Monitoring, and the Precise Feeding of Dairy Cows. *Agriculture*. 2023; 13(10): 1858. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101858>
15. Dolnik V.R. The study of behaviour by means of time and energy budget analysis. *The Russian journal of ornithology*. 2004; 13(249): 22–32 (in Russian). EDN: IBZCXF
16. Moskvitina N.S. *et al.* Methodological guide for independent work in specialized field practice in vertebrate zoology. Tomsk: Tomsk State University. 2018. 83 (in Russian).
17. Gomez A., Cook N.B. Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(12): 5772–5781. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3436>
18. Leliveld L.M.C., Riva E., Mattachini G., Finzi A., Lovarelli D., Provolo G. Dairy Cow Behavior Is Affected by Period, Time of Day and Housing. *Animals*. 2022; 12(4): 512. <https://doi.org/10.3390/ani12040512>
19. Mellado M. *et al.* The effect of lameness-causing lesions on milk yield and fertility of primiparous Holstein cows in a hot environment. *Livestock Science*. 2018; 217: 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.008>
20. Kang X., Zhang X.D., Liu G. Accurate detection of lameness in dairy cattle with computer vision: A new and individualized detection strategy based on the analysis of the supporting phase. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(11): 10628–10638. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18288>

21. Puerto M.A., Shepley E., Cue R.I., Warner D., Dubuc J., Vasseur E. The hidden cost of disease: I. Impact of the first incidence of mastitis on production and economic indicators of primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(7): 7932–7943. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19584>
22. Fadul-Pacheco L., Delgado H., Cabrera V.E. Exploring machine learning algorithms for early prediction of clinical mastitis. *International Dairy Journal*. 2021; 119: 105051. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105051>
23. Overton T.R., McArt J.A.A., Nydam D.V. A 100-Year Review: Metabolic health indicators and management of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10398–10417. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13054>
24. Antanaitis R., Juozaitienė V., Televičius M., Malašauskienė D., Urbutis M., Baumgartner W. Relation of Subclinical Ketosis of Dairy Cows with Locomotion Behaviour and Ambient Temperature. *Animals*. 2020; 10(12): 2311. <https://doi.org/10.3390/ani10122311>
25. Heinicke J., Ibscher S., Belik V., Amon T. Cow individual activity response to the accumulation of heat load duration. *Journal of Thermal Biology*. 2019; 82: 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.011>
26. Wang X., Zhang G., Choi C.Y. Effect of airflow speed and direction on convective heat transfer of standing and reclining cows. *Biosystems Engineering*. 2018; 167: 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.011>
27. Arago N.M. et al. Automated Estrus Detection for Dairy Cattle through Neural Networks and Bounding Box Corner Analysis. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2020; 11(9): 303–311. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110935>
28. Arkan İ., Ayav T., Seçkin A.Ç., Soyğazi F. Estrus Detection and Dairy Cow Identification with Cascade Deep Learning for Augmented Reality-Ready Livestock Farming. *Sensors*. 2023; 23(24): 9795. <https://doi.org/10.3390/s23249795>
29. Leiveld L.M.C., Provolo G. A Review of Welfare Indicators of Indoor-Housed Dairy Cow as a Basis for Integrated Automatic Welfare Assessment Systems. *Animals*. 2020; 10(8): 1430. <https://doi.org/10.3390/ani10081430>
30. Bell A.W. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*. 1995; 73(9): 2804–2819. <https://doi.org/10.2527/1995.7392804x>
31. Ito K., Chapinal N., Weary D.M., von Keyserlingk M.A.G. Associations between herd-level factors and lying behavior of freestall-housed dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(4): 2081–2089. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6861>
32. Tucker C.B., Jensen M.B., de Passillé A.M., Hänninen L., Rushen J. Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(1): 20–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18074>
33. Grant R.J. Taking Advantage of Natural Behavior Improves Dairy Cow Performance. *Western Dairy Management Conference*. 2007. <https://wdmc.org/2007/Grant.pdf>
34. Горбачева Н.Н., Крисанов А.Ф. Влияние генотипа и физиологического состояния на пищевое поведение коров. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005; (3): 77–79. EDN HRWLJX
35. Krawczel P., Grant R. Effects of cow comfort on milk quality, productivity and behaviour. *Proceedings of the NMC 48th Annual Meeting*. 2009; 15–24.
36. Николаева С.В. Поведенческие реакции коров-первотелок айрширской и голштинской пород в осенний период. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2012; (2): 34–36. EDN QBZAKR
37. Миронова Т.А., Апыктин Н.Н. Этологические особенности развития молодняка крупного рогатого скота голштинской породы. *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий*. СПб. 2021; 625–627. EDN NXNBIG
38. Улибашева Р.А., Шевхужев А.Ф., Смакуев Д.Р. Этологические особенности и резистентность теллят калмыцкой и бурой швейцарской пород при разных технологиях выращивания. *Известия Горьковского государственного аграрного университета*. 2018; 55(1): 64–69. EDN YTFUWC
39. Liu N., Qi J., An X., Wang Y. A Review on Information Technologies Applicable to Precision Dairy Farming: Focus on Behavior, Health Monitoring, and the Precise Feeding of Dairy Cows. *Agriculture*. 2023; 13(10): 1858. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101858>
40. Džermeikaitė K., Bačėninaitė D., Antanaitis R. Innovations in Cattle Farming: Application of Innovative Technologies and Sensors in the Diagnosis of Diseases. *Animals*. 2023; 13(5): 780. <https://doi.org/10.3390/ani13050780>
41. Stewart M., Wilson M.T., Schaefer A.L., Huddart F., Sutherland M.A. The use of infrared thermography and accelerometers for remote monitoring of dairy cow health and welfare. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(5): 3893–3901. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12055>
21. Puerto M.A., Shepley E., Cue R.I., Warner D., Dubuc J., Vasseur E. The hidden cost of disease: I. Impact of the first incidence of mastitis on production and economic indicators of primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(7): 7932–7943. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19584>
22. Fadul-Pacheco L., Delgado H., Cabrera V.E. Exploring machine learning algorithms for early prediction of clinical mastitis. *International Dairy Journal*. 2021; 119: 105051. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105051>
23. Overton T.R., McArt J.A.A., Nydam D.V. A 100-Year Review: Metabolic health indicators and management of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10398–10417. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13054>
24. Antanaitis R., Juozaitienė V., Televičius M., Malašauskienė D., Urbutis M., Baumgartner W. Relation of Subclinical Ketosis of Dairy Cows with Locomotion Behaviour and Ambient Temperature. *Animals*. 2020; 10(12): 2311. <https://doi.org/10.3390/ani10122311>
25. Heinicke J., Ibscher S., Belik V., Amon T. Cow individual activity response to the accumulation of heat load duration. *Journal of Thermal Biology*. 2019; 82: 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.011>
26. Wang X., Zhang G., Choi C.Y. Effect of airflow speed and direction on convective heat transfer of standing and reclining cows. *Biosystems Engineering*. 2018; 167: 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.011>
27. Arago N.M. et al. Automated Estrus Detection for Dairy Cattle through Neural Networks and Bounding Box Corner Analysis. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2020; 11(9): 303–311. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110935>
28. Arkan İ., Ayav T., Seçkin A.Ç., Soyğazi F. Estrus Detection and Dairy Cow Identification with Cascade Deep Learning for Augmented Reality-Ready Livestock Farming. *Sensors*. 2023; 23(24): 9795. <https://doi.org/10.3390/s23249795>
29. Leiveld L.M.C., Provolo G. A Review of Welfare Indicators of Indoor-Housed Dairy Cow as a Basis for Integrated Automatic Welfare Assessment Systems. *Animals*. 2020; 10(8): 1430. <https://doi.org/10.3390/ani10081430>
30. Bell A.W. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*. 1995; 73(9): 2804–2819. <https://doi.org/10.2527/1995.7392804x>
31. Ito K., Chapinal N., Weary D.M., von Keyserlingk M.A.G. Associations between herd-level factors and lying behavior of freestall-housed dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(4): 2081–2089. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6861>
32. Tucker C.B., Jensen M.B., de Passillé A.M., Hänninen L., Rushen J. Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(1): 20–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18074>
33. Grant R.J. Taking Advantage of Natural Behavior Improves Dairy Cow Performance. *Western Dairy Management Conference*. 2007. <https://wdmc.org/2007/Grant.pdf>
34. Gorbacheva N.N., Krisanov A.F. Influence of genotype and physiological state in cows on their alimentary behaviour. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2005; (3): 77–79 (in Russian). EDN HRWLJX
35. Krawczel P., Grant R. Effects of cow comfort on milk quality, productivity and behaviour. *Proceedings of the NMC 48th Annual Meeting*. 2009; 15–24.
36. Nikolaeva S.V. Ayrshire and Holstein cow-heifers' behavioral reactions in autumn term. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2012; (2): 34–36 (in Russian). EDN QBZAKR
37. Mironova T.A., Apykhtin N.N. Ethological features of the development of young cattle of the Holstein breed. *Scientific support for the development of agriculture in the context of import substitution. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the Year of Science and Technology*. St. Petersburg. 2021; 625–627 (in Russian). EDN NXNBIG
38. Ulimbasheva R.A., Shevkhuzhev A.F., Smakuev D.R. Ethological characteristics and resistance of Kalmyk and Brown Swiss calves when using different breeding technologies. *Proceedings of Gorky State Agrarian University*. 2018; 55(1): 64–69 (in Russian). EDN YTFUWC
39. Liu N., Qi J., An X., Wang Y. A Review on Information Technologies Applicable to Precision Dairy Farming: Focus on Behavior, Health Monitoring, and the Precise Feeding of Dairy Cows. *Agriculture*. 2023; 13(10): 1858. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101858>
40. Džermeikaitė K., Bačėninaitė D., Antanaitis R. Innovations in Cattle Farming: Application of Innovative Technologies and Sensors in the Diagnosis of Diseases. *Animals*. 2023; 13(5): 780. <https://doi.org/10.3390/ani13050780>
41. Stewart M., Wilson M.T., Schaefer A.L., Huddart F., Sutherland M.A. The use of infrared thermography and accelerometers for remote monitoring of dairy cow health and welfare. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(5): 3893–3901. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12055>

ОБ АВТОРАХ

Дмитрий Юрьевич Павкин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
dimqaga@mail.ru
<https://orcid.org/0000000187698365>

Сергей Сергеевич Юрочка

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Артем Рустамович Хакимов

кандидат технических наук, младший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Савр Олегович Базаев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
sbzaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Владислав Русланович Тарасов

специалист
Tarvla1999@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Ирина Георгиевна Ершова

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник
eig85@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1126-3837>
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, д. 5, Москва, 109428, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Dmitry Yuryevich Pavkin

Candidate of Technical Sciences, Researcher
dimqaga@mail.ru
<https://orcid.org/0000000187698365>

Sergei Sergeyevich Yurochka

Candidate of Technical Sciences, Researcher
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Artem Rustamovich Khakimov

Candidate of Technical Sciences, junior Research associate
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Savr Olegovich Bazaev

Candidate of Agricultural Sciences, Research Associate
sbzaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Vladislav Ruslanovich Tarasov

Engineer
Tarvla1999@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Irina Georgievna Ershova

Doctor of Technical Sciences, Leading research fellow
eig85@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1126-3837>
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia

Ассоциация полиморфизма генов *PRL*, *β-LG* и *LEP* с показателями качественного состава молока овец дагестанской горной породы и их помесей

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В условиях интенсификации животноводства возрастает значение молекулярно-генетических методов в селекции сельскохозяйственных животных. В молочном овцеводстве применение генетических маркеров позволяет проводить раннюю оценку продуктивного потенциала, однако для локальных пород, включая дагестанскую горную, данные о генетических факторах, определяющих качественные показатели молока, остаются ограниченными.

Методы. Объектом исследования служили овцы дагестанской горной породы ($n = 40$) и их помеси с породой лакон ($n = 60$). Генотипирование по генам *PRL*, *β-LG* и *LEP* проводили методом ПЦР-ПДРФ. Физико-химические показатели молока оценивали у 14 чистопородных и 31 помесной овцематки, жирнокислотный состав — у 8 и 19 животных соответственно. Статистическую обработку данных выполняли с применением общепринятых биометрических методов.

Результаты. У чистопородных овец установлено преобладание аллеля В гена *PRL* (91,3 %) и аллеля G гена *LEP* (96,3%), тогда как ген *β-LG* характеризовался более равномерным распределением аллелей (А — 36,3 %; В — 63,8 %) и ожидаемой гетерозиготностью 46,2%. У помесных животных частота аллеля Т гена *LEP* достигала 15,0%. Овцы дагестанской горной породы превосходили помесей по массовой доле жира на 14,6% ($p \leq 0,05$), сухому обезжиренному остатку — на 22,5% ($p \leq 0,01$) и калорийности молока — на 8,2% ($p \leq 0,05$). У помесных овец содержание белка было выше на 17,9% ($p \leq 0,001$). Различия жирнокислотного профиля проявлялись в содержании отдельных коротко-, средне- и длинноцепочечных жирных кислот. У помесных животных с генотипом AA гена *β-LG* содержание сухого вещества и калорийность молока были выше, чем у носителей генотипа BB, на 38,2 и 20,5% соответственно ($p \leq 0,05$). У чистопородных овец статистически значимых различий между генотипами не установлено.

Ключевые слова: овцы, дагестанская горная порода, порода лакон, молочная продуктивность, генетический полиморфизм, *PRL*, *β-LG*, *LEP*, молекулярно-генетические маркеры

Для цитирования: Карпова Е.Д., Степаненко В.А., Суров А.И., Омаров А.А., Шпыгова В.М. Ассоциация полиморфизма генов *PRL*, *β-LG* и *LEP* с показателями качественного состава молока овец дагестанской горной породы и их помесей. *Аграрная наука*. 2026; 411(10): 69–77.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-69-77>

Association of *PRL*, *β-LG* and *LEP* gene polymorphisms with milk composition traits in Dagestan Mountain sheep and their crossbreds

ABSTRACT

Relevance. With the intensification of livestock production, molecular genetic methods are becoming increasingly important in the breeding of farm animals. In dairy sheep breeding, the use of genetic markers enables early assessment of productive potential; however, data on the genetic factors determining milk quality traits in local breeds, including the Dagestan Mountain breed, remain limited.

Methods. The study included Dagestan Mountain sheep ($n = 40$) and their Lacaune crossbreds ($n = 60$). Genotyping of the *PRL*, *β-LG*, and *LEP* genes was performed using PCR-RFLP analysis. The physicochemical properties of milk were evaluated in 14 purebred and 31 crossbred ewes, while the fatty acid composition was analysed in 8 and 19 animals, respectively. Statistical analysis was performed using standard biometric methods.

Results. Purebred sheep showed a predominance of the B allele of the *PRL* gene (91.3%) and the G allele of the *LEP* gene (96.3%), whereas the *β-LG* gene was characterised by a more balanced allele distribution (A, 36.3%; B, 63.8%) and an expected heterozygosity of 46.2%. In crossbred animals, the frequency of the T allele of the *LEP* gene reached 15.0%. Dagestan Mountain sheep exceeded the crossbreds in milk fat content by 14.6% ($p \leq 0.05$), solids-not-fat content by 22.5% ($p \leq 0.01$), and milk energy value by 8.2% ($p \leq 0.05$). In contrast, milk protein content was 17.9% higher in the crossbred sheep ($p \leq 0.001$). Differences in the fatty acid profile were observed in the concentrations of individual short-, medium-, and long-chain fatty acids. Among the crossbred animals, carriers of the AA genotype of the *β-LG* gene had 38.2% higher total solids content and 20.5% higher milk energy value than carriers of the BB genotype ($p \leq 0.05$). No statistically significant differences among genotypes were detected in the purebred sheep.

Key words: sheep, Dagestan Mountain breed, Lacaune breed, milk production, genetic polymorphism, *PRL*, *β-LG*, *LEP*, molecular genetic markers

For citation: Karpova E.D., Stepanenko V.A., Surov A.I., Omarov A.A., Shpygova V.M. Association of *PRL*, *β-LG* and *LEP* gene polymorphisms with milk composition traits in Dagestan Mountain sheep and their crossbreds. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 69–77 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-69-77>

Введение/Introduction

В условиях интенсификации овцеводства актуальны как совершенствование воспроизводства, так и повышение эффективности селекционной работы [1, 2]. В молочном животноводстве оценка хозяйственно полезных признаков ограничена необходимостью ожидания периода лактации, при этом состав и свойства молока существенно варьируют в зависимости от ее стадии. В овцеводстве данная проблема дополнительно осложняется сравнительно небольшими масштабами отрасли, менее развитой системой учета продуктивности и выраженными породными особенностями, что затрудняет ранний отбор и увеличивает продолжительность селекционного цикла [2–4]. Это обуславливает необходимость применения молекулярно-генетических методов, позволяющих проводить раннюю и более точную характеристику продуктивного потенциала животных, в том числе на основе анализа полиморфизма генов-кандидатов, ассоциированных с хозяйственно-полезными признаками [5–7].

Среди генов, вовлеченных в формирование качественных показателей молока у овец, гены *PRL*, *LEP* и β -*LG* представляют интерес как элементы различных уровней регуляции данного процесса — гормонального, метаболического и структурного. Ген *PRL* кодирует гормон пролактин, обеспечивающий развитие и функциональную активность молочной железы и регулирующий процессы лактации [8]. Ген *LEP* участвует в контроле энергетического обмена и координации метаболического статуса организма с реализацией продуктивных функций [9]. Ген β -*LG* определяет синтез одного из основных сывороточных белков молока и непосредственно связан с его биохимическим составом и технологическими свойствами [10].

Накопленные к настоящему времени данные свидетельствуют о том, что полиморфизм указанных генов может быть ассоциирован с уровнем молочной продуктивности, содержанием белка и жира, а также другими показателями качества молока. Вместе с тем результаты исследований не всегда согласуются, что может быть связано с влиянием породных особенностей, условий содержания и генетического фона исследуемых популяций [11–14]. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение генетических факторов, опосредующих формирование качественных показателей молока на уровне конкретных пород и популяций, включая локальные.

Дагестанская горная порода овец является локальным генетически ценным ресурсом, сформированным в условиях сложного природно-климатического рельефа и характеризующимся высокой устойчивостью к экстремальным факторам среды. Опубликованные исследования породы преимущественно посвящены ее происхождению, экстерьерным и мясным качествам, тогда как сведения о составе молока представлены отдельными работами, включая данные о его

минеральном составе [15–17]. Это обуславливает необходимость дальнейшего изучения качественных показателей молока овец данной породы.

Использование межпородного скрещивания позволяет получать помесное потомство, отличающееся от чистопородных сверстников по отдельным хозяйственно полезным признакам [18, 19]. Сравнительное изучение чистопородных и помесных животных представляет интерес для оценки особенностей формирования продуктивных признаков на различном генетическом фоне.

В связи с этим целью настоящего исследования являлась оценка ассоциации полиморфизма генов *PRL*, β -*LG* и *LEP* с качественными показателями молока овец дагестанской горной породы и их помесей.

Материал и методы исследования / Material and methods

Работа проводилась в 2025 году на базе лаборатории перспективных молочных ресурсов и отдела генетики и биотехнологии ВНИИОК — филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (г. Ставрополь). Объектом исследования являлись овцы, содержащиеся в хозяйствах СХК «Агрофирма «Сограталь»» и ООО «НПСР «Возрождение»» Республики Дагестан. Животные содержались в сходных условиях, принятых в хозяйствах региона. В выборку было включено 100 животных, из которых 40 относились к дагестанской горной породе (ДГ), а 60 представляли собой помеси, полученные при скрещивании маток дагестанской горной породы с баранами породы лакон (ДГ×Л).

Генетические исследования включали определение полиморфизма трех генов-кандидатов, потенциально связанных с показателями молочной продуктивности: *PRL*, β -*LG* и *LEP*. Для проведения молекулярно-генетического анализа использовали геномную ДНК, выделенную из крови животных. Экстракцию ДНК для анализа полиморфизма гена *LEP* осуществляли с использованием автоматизированной станции Nexo 96 (НПФ «Некст-Био», Россия) и набора Magnopriime Vet (ООО «Диагностические системы», Россия). Для генов *PRL* и β -*LG* выделение ДНК проводили с применением набора Diatom DNA Prep 100 (ООО «Изоген», Россия). Амплификацию исследуемых участков ДНК выполняли методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с использованием набора GenPak® PCR Core (ООО «Изоген», Россия). Праймеры были синтезированы ООО НПФ «Синтол» (Россия). Последовательности праймеров и режимы амплификации для генов *PRL* и β -*LG* использовали согласно ранее опубликованной работе [11]. Последовательности праймеров для гена *LEP* были заимствованы из работы [20], температурно-временной режим амплификации оптимизирован в условиях лаборатории. Генотипирование животных проводили методом ПЦР-ПДРФ с использованием рестрикционных эндонуклеаз: *HaeIII* для

гена *PRL*, *RsaI* для гена β -LG и *SmiI* для гена *LEP* (ООО «СибЭнзайм», Россия). Условия амплификации и последовательности праймеров приведены в таблице 1. Разделение амплифицированных и рестрикционных фрагментов осуществляли методом горизонтального электрофореза в агарозном геле. Визуализацию фрагментов проводили в ультрафиолетовом свете после окрашивания бромистым этидием. В качестве маркера длины фрагментов при анализе генов *PRL* и β -LG применяли DNA Ladder 50+ bp, а при анализе гена *LEP* — DNA Ladder 100 bp (ООО «Изоген», Россия).

Физико-химические показатели молока оценивали у 14 чистопородных (ДГ) и 31 помесной овцематки (ДГ×Л), жирнокислотный состав — у 8 и 19 животных соответственно. Пробы молока отбирали четырежды с периодичностью в десять дней в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 26809.1-2014¹. Оценку физико-химических показателей молока, включая массовую долю жира, белка, лактозы, сухого вещества (СВ), сухого обезжиренного остатка (СОМО), минеральных солей, калорийность и точку замерзания, проводили с использованием инфракрасного анализатора «ИнфраМилк» исполнение ПРОФИ (ООО ВПК «Сибпроприбор», Россия) согласно протоколу исследования лаборатории. Определение жирнокислотного состава молока (метилловые эфиры жирных кислот) выполняли в испытательной лаборатории Северо-Кавказского филиала ФГБУ «ЦОК АПК» (г. Ставрополь) с использованием аппаратно-программного хроматографического комплекса на базе «Хроматэк — Кристалл 5000» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия) согласно ГОСТ 32915-2014².

Все манипуляции с животными проводили с соблюдением требований Директивы 2010/63/EU о защите животных, используемых в научных целях³ и принципов гуманного обращения с животными, установленных Федеральным законом Российской Федерации от 27 декабря 2018 г. № 498-ФЗ⁴.

Частоты генотипов и аллелей рассчитывали методом прямого подсчета. Ожидаемую гетерозиготность определяли по формуле $He = 1 - \sum p_i^2$,

эффективное число аллелей — по формуле $Ae = 1 / \sum p_i^2$, где p_i — частота соответствующего аллеля.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием методов вариационной статистики. Для каждого животного рассчитывали среднее значение показателей по четырем последовательным отборам молока; полученные индивидуальные средние использовали как независимые наблюдения. Количественные данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро-Уилка, однородность дисперсий — критерия Левена.

При неоднородности дисперсий применяли *t*-критерий Уэлча, при отклонении данных от нормального распределения — критерий Манна-Уитни. Сравнение трех генотипических групп проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа с последующим тестом Тьюки либо критерия Краскела-Уоллиса с последующими попарными сравнениями по критерию Манна-Уитни и поправкой Холма. При сравнении двух генотипических групп использовали *t*-критерий Стьюдента, *t*-критерий Уэлча или критерий Манна-Уитни в зависимости от характера распределения данных и однородности дисперсий. Генотипические группы, представленные одним животным ($n = 1$), в

Таблица 1. Праймеры и условия проведения амплификации для генов *PRL*, β -LG и *LEP*

Table 1. Primers and amplification conditions used for the *PRL*, β -LG and *LEP* genes

Ген	Последовательность праймеров	Рестриктаза	Условия реакции амплификации			
			Этап	t °C	Время	Число циклов
<i>PRL</i>	F: 5'– cgagtccttatgagcttgattctt–3' R: 5'– gccttcacagaagtcgtttgtttc–3'	HaeIII	Первоначальная денатурация	95	5 мин	1
			Денатурация	95	30 сек	33
			Отжиг	56	40 сек	
			Элонгация	72	40 сек	
			Завершающая элонгация	72	7 мин	1
β -LG	F: 5'– ctcttgggttcagtgtagcttg–3' R: 5'– caccatttctgcagcaggatctc–3'	RsaI	Первоначальная денатурация	95	5 мин	1
			Денатурация	95	30 сек	33
			Отжиг	58	40 сек	
			Элонгация	72	40 сек	
			Завершающая элонгация	72	7 мин	1
<i>LEP</i>	F: 5'–aggaagcacctctacgctc–3' R: 5'–cttcaaggcttcagcacc–3'	SmiI	Первоначальная денатурация	94	5 мин	1
			Денатурация	94	30 сек	35
			Отжиг	62,3	30 сек	
			Элонгация	72	30 сек	
			Завершающая элонгация	72	10 мин	1

¹ ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молочкосодержащие продукты

² ГОСТ 32915-2014 Молоко и молочная продукция. Определение жирнокислотного состава жировой фазы методом газовой хроматографии

³ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года

⁴ Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ

Рис. 1. Электрофореграмма рестрикционных фрагментов гена *PRL*, расщепленного эндонуклеазой *HaeIII* в 1,8% агарозном геле. Обозначения: дорожка 8 — ДНК-маркер 50 bp (IsoGeneLab); дорожки 1–7, 9–11, 13, 14 — генотип BB (517, 370, 152, 147 п.н.); дорожки 12, 15, 16 — генотип AB (540, 517, 370, 152, 147 п.н.)

Fig. 1. Electrophoregram of restriction fragments of the *PRL* gene digested with *HaeIII* in 1.8% agarose gel. Notation: lane 8 — DNA ladder 50 bp (IsoGeneLab); lanes 1–7, 9–11, 13, 14 — genotype BB (517, 370, 152, 147 bp); lanes 12, 15, 16 — genotype AB (540, 517, 370, 152, 147 bp).



статистические сравнения не включали. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$; уровни $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$ указывали отдельно.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При генотипировании животных по гену *PRL* установлены следующие рестрикционные профили: генотип AA характеризуется фрагментами длиной 540, 370, 152 и 147 п.н., генотип AB — 540, 517, 370, 152 и 147 п.н., генотип BB — 517, 370, 152 и 147 п.н. (рис. 1).

Для гена *β-LG* генотипы определялись по следующим комбинациям фрагментов: AA — 241 и 60 п.н., AB — 241, 175, 66 и 60 п.н., BB — 175, 66 и 60 п.н. (рис. 2).

Для гена *LEP* установлены следующие варианты: генотип GG характеризуется наличием фрагментов длиной 385 и 87 п.н., генотип GT — 472, 385 и 87 п.н., генотип TT — 472 п.н. (рис. 3).

На основании результатов генотипирования животных по генам *PRL*, *β-LG* и *LEP* установлено, что у овец дагестанской горной породы наблюдается неравномерное распределение аллелей: по генам *PRL* и *LEP* отмечено выраженное доминирование аллелей B (91,3%) и G (96,3%), что свидетельствует о низком уровне генетической вариабельности по данным локусам. В то же время по гену *β-LG* распределение аллелей было более сбалансированным (A — 36,3%; B — 63,8%), что указывает на более высокий уровень полиморфизма (рис. 4). У помесных животных сохранялась сходная структура, однако частота аллеля T гена *LEP* достигала 15,0%.

В целом, как у помесных, так и у чистопородных животных наибольший уровень полиморфизма сохранялся по гену *β-LG*, тогда как минимальная изменчивость у чистопородных животных отмечена по гену *LEP*, а у помесных — по гену *PRL*.

Рис. 2. Электрофореграмма рестрикционных фрагментов гена *β-LG*, расщепленного эндонуклеазой *RsaI* в 3% агарозном геле. Обозначения: дорожка 8 — DNA Ladder 50+ bp (IsoGeneLab); дорожки 1, 5, 11, 14 — генотип AA (241, 60 п.н.); дорожки 2, 3, 4, 9, 13, 16 — генотип AB (241, 175, 66, 60 п.н.); дорожки 6, 7, 10, 12, 15 — генотип BB (175, 66, 60 п.н.)

Fig. 2. Electrophoregram of restriction fragments of the *β-LG* gene digested with *RsaI* in 3% agarose gel. Notation: lane 8 — DNA Ladder 50+ bp (IsoGeneLab); lanes 1, 5, 11, 14 — genotype AA (241, 60 bp); lanes 2, 3, 4, 9, 13, 16 — genotype AB (241, 175, 66, 60 bp); lanes 6, 7, 10, 12, 15 — genotype BB (175, 66, 60 bp).

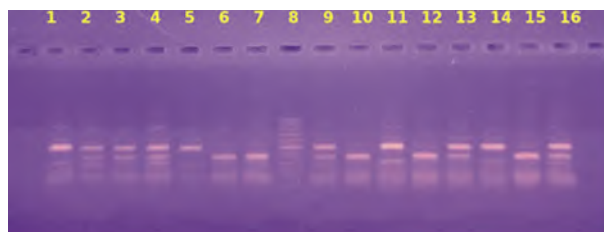


Рис. 3. Электрофореграмма рестрикционных фрагментов гена *LEP*, расщепленного эндонуклеазой *SmiI* в 3% агарозном геле. Обозначения: дорожка 18 — ДНК-маркер 100 bp (IsoGeneLab); дорожка 17 — ПЦР-продукт; дорожки 1, 4–16 — генотип GG (385, 87 п.н.); дорожки 2, 3 — генотип GT (472, 385, 87 п.н.)

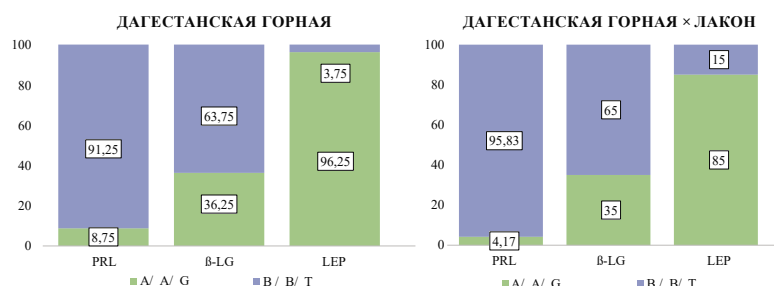
Fig. 3. Electrophoregram of restriction fragments of the *LEP* gene digested with *SmiI* in 3% agarose gel. Notation: lane 18 — DNA ladder 100 bp (IsoGeneLab); lane 17 — PCR product; lanes 1, 4–16 — genotype GG (385, 87 bp); lanes 2, 3 — genotype GT (472, 385, 87 bp).



Анализ распределения генотипов показал, что у овец дагестанской горной породы по гену *PRL* преобладал генотип BB (82,5%), при относительно низкой доле гетерозиготных животных (AB — 17,5%) и отсутствии генотипа AA. По гену *β-LG* отмечено более равномерное распределение генотипов с преобладанием гетерозиготного варианта AB (47,5%), тогда как доля генотипов AA и BB составила 12,5% и 40,0% соответственно. По гену *LEP* практически вся выборка была представлена генотипом GG (92,5%), при незначительной доле генотипа GT (7,5%) и отсутствии генотипа TT (рис. 5).

Рис. 4. Частота аллелей генов *PRL*, *β-LG* и *LEP* у овец дагестанской горной породы и их помесей (дагестанская горная × лакон), %

Fig. 4. Allele frequencies of *PRL*, *β-LG* and *LEP* genes in Dagestan Mountain sheep and their crossbreds (Dagestan Mountain × Lacauine), %



Оценка показателей генетического разнообразия показала, что наибольшие значения числа эффективных аллелей ($A_e = 1,86$) и ожидаемой гетерозиготности ($H_e = 46,2\%$) характерны для гена β -LG, тогда как для генов PRL и LEP данные показатели были значительно ниже, что подтверждает ограниченную вариабельность этих локусов.

У помесных животных (дагестанская горная $\times$ лакон) наблюдалась сходная структура распределения генотипов. По гену PRL также доминировал генотип BB (91,7%), при снижении доли гетерозигот (AB — 8,3%). По гену β -LG сохранялось относительно равномерное распределение генотипов с преобладанием AB (50,0%). В то же время по гену LEP отмечено увеличение генетического разнообразия, что проявлялось в снижении доли генотипа GG (76,7%) и появлении генотипа TT (6,7%) при увеличении частоты гетерозигот GT (16,7%).

Рост генетического разнообразия по гену LEP у помесных животных сопровождался увеличением частоты аллеля Т до 15,0%, числа эффективных аллелей ($A_e = 1,34$) и ожидаемой гетерозиготности ($H_e = 25,5\%$). В целом у помесных и у чистопородных животных наибольший уровень полиморфизма сохранялся по гену β -LG, тогда как ген PRL характеризовался минимальной изменчивостью.

Выявленные особенности распределения аллелей и генотипов по генам PRL , β -LG и LEP отражают различия в генетической структуре исследуемых групп животных и позволяют предположить их возможную связь с показателями молочной продуктивности. В связи с этим проведен анализ физико-химических показателей и жирнокислотного состава молока овцематок дагестанской горной породы и их помесей, что позволяет оценить влияние генетических и породных особенностей на формирование состава молока.

При анализе физико-химических показателей молока были выявлены различия между чистопородными овцематками дагестанской горной породы и помесными животными (дагестанская горная $\times$ лакон) (табл. 2).

Установлено, что у овец дагестанской горной породы массовая доля жира была достоверно выше на 14,6% ($p \leq 0,05$) по сравнению с помесными животными, что сопровождалось более высокой калорийностью молока на 8,2% ($p \leq 0,05$). Кроме того, у чистопородных овцематок отмечено статистически значимое превышение показателя сухого обезжиренного остатка (СОМО) на 22,5% ($p \leq 0,01$), что свидетельствует о более концентрированном составе молока.

В то же время у помесных овцематок массовая доля белка была выше на 17,9% по сравнению с чистопородными животными ($p \leq 0,001$), что характеризует их молоко как более богатое белком

Рис. 5. Распределение генотипов генов PRL , β -LG и LEP у овец дагестанской горной породы и их помесей (дагестанская горная $\times$ лакон), %

Fig. 5. Genotype distribution of PRL , β -LG and LEP genes in Dagestan Mountain sheep and their crossbreds (Dagestan Mountain $\times$ Lacauene), %

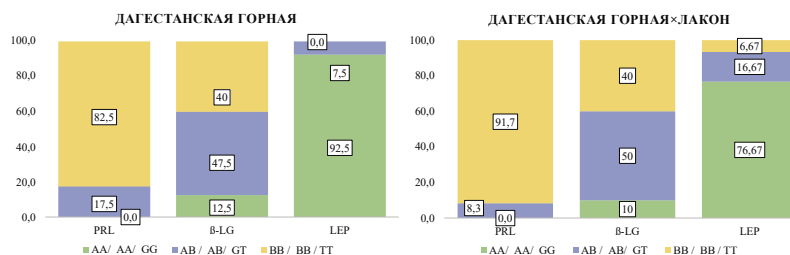


Таблица 2. Физико-химические показатели молока овцематок дагестанской горной породы (ДГ) и помесных животных (ДГ $\times$ Л) ($M \pm SD$)

Table 2. Physicochemical parameters of milk in Dagestan Mountain sheep and Dagestan Mountain $\times$ Lacauene crossbred ewes ($M \pm SD$)

Показатель	ДГ (n = 14)	ДГ $\times$ Л (n = 31)
Массовая доля жира, %	8,02 $\pm$ 0,90*	7,00 $\pm$ 1,29
Сухое вещество (СВ), %	16,94 $\pm$ 4,03	17,27 $\pm$ 3,84
СОМО, %	12,99 $\pm$ 1,15**	10,60 $\pm$ 3,35
Массовая доля белка, %	4,43 $\pm$ 0,32	5,22 $\pm$ 0,69***
Массовая доля лактозы, %	6,49 $\pm$ 0,90	5,81 $\pm$ 1,84
Минеральные соли (МС), %	0,88 $\pm$ 0,06	0,90 $\pm$ 0,31
Точка замерзания (ТЗ), °C	-0,48 $\pm$ 0,14	-0,48 $\pm$ 0,12
Калорийность, ккал	118,67 $\pm$ 12,24*	109,63 $\pm$ 13,55

Примечание: * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$

по сравнению с чистопородными животными. Данное различие, вероятно, связано с влиянием генотипа породы лакон, характеризующейся более высокими показателями белковости молока. По остальным показателям статистически значимых различий между группами установлено не было, что свидетельствует о сходстве базовых характеристик молока.

Наряду с физико-химическими показателями, важным критерием оценки состава и пищевой ценности молока является его жирнокислотный профиль. В связи с этим был проведен сравнительный анализ содержания отдельных жирных кислот в молоке овцематок дагестанской горной породы и их помесей с породой лакон.

Анализ жирнокислотного состава молока овцематок показал наличие выраженных различий между чистопородными животными дагестанской горной породы и их помесями с породой лакон (табл. 3).

У помесных овец установлено достоверно более высокое содержание короткоцепочечных жирных кислот: масляной (C4:0) на 22,7%, капроновой (C6:0) на 20% и каприловой (C8:0) на 17,4% ($p \leq 0,05$). Это свидетельствует об изменении липидного профиля молока в сторону повышения доли легкоусвояемых фракций.

У чистопородных животных содержание лауриновой (C12:0), миристиновой (C14:0) и

Таблица 3. Жирнокислотный состав молока овцематок дагестанской горной породы и помесей (дагестанская горная × лакон), % ($M \pm SD$)

Table 3. Fatty acid composition of milk in Dagestan Mountain sheep and Dagestan Mountain × Lacune crossbred ewes, % ($M \pm SD$)

Жирная кислота, %	Дагестанская горная (n = 8)	Дагестанская горная × лакон (n = 19)
Масляная (C4:0)	1,50 ± 0,33	1,84 ± 0,43*
Капроновая (C6:0)	1,60 ± 0,27	1,92 ± 0,27*
Каприловая (C8:0)	1,84 ± 0,26	2,16 ± 0,26*
Каприновая (C10:0)	7,52 ± 0,85	6,98 ± 0,66
Деционовая (C10:1)	0,38 ± 0,05***	0,24 ± 0,04
Лауриновая (C12:0)	5,95 ± 1,12**	4,53 ± 0,40
Миристиновая (C14:0)	13,90 ± 2,07**	11,56 ± 0,98
Миристолеиновая (C14:1)	0,68 ± 0,13***	0,43 ± 0,09
Пентадекановая (C15:0)	1,84 ± 0,65***	1,03 ± 0,06
Пальмитиновая (C16:0)	31,88 ± 2,45***	26,24 ± 1,14
Пальмитолеиновая (C16:1)	2,04 ± 0,82***	0,77 ± 0,16
Маргариновая (C17:0)	0,66 ± 0,14	0,60 ± 0,07
Стеариновая (C18:0)	5,14 ± 1,85	11,32 ± 0,95***
Олеиновая (C18:1)	17,10 ± 3,96	23,34 ± 1,66***
Линолевая (C18:2)	3,17 ± 0,63**	2,34 ± 0,13
Линоленовая (C18:3)	0,72 ± 0,24	0,79 ± 0,08
Арахидовая (C20:0)	< 0,1	< 0,1
Бегеновая (C22:0)	< 0,1	< 0,1

Примечание: * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$

пальмитиновой (C16:0) кислот было выше на 31,3, 20,2 и 21,5% соответственно ($p \leq 0,01$). Более высокие значения также установлены для деционовой кислоты (C10:1) — на 58,3%, миристолеиновой (C14:1) — на 58,1% и пальмитолеиновой (C16:1) — в 2,65 раза ($p \leq 0,001$). Содержание линолевой кислоты (C18:2) у чистопородных овец превышало показатель помесных животных на 35,5% ($p \leq 0,01$).

У помесных овец, напротив, содержание стеариновой кислоты (C18:0) было выше в 2,2 раза, а олеиновой кислоты (C18:1) — на 36,5% ($p \leq 0,001$). Выявленные различия указывают на неодинаковое соотношение отдельных средне- и длинноцепочечных жирных кислот в молоке чистопородных и помесных животных.

По остальным компонентам жирнокислотного состава статистически значимых различий между

группами не установлено. Содержание арахидовой (C20:0) и бегеновой (C22:0) кислот в обеих группах находилось на следовом уровне.

Для молока овец дагестанской горной породы характерно более высокое содержание ряда средне- и длинноцепочечных жирных кислот, включая лауриновую, миристиновую, пальмитиновую, деционовую, миристолеиновую, пальмитолеиновую и линолевую кислоты. У помесных животных отмечено повышенное содержание короткоцепочечных жирных кислот, а также стеариновой и олеиновой кислот, что свидетельствует о различиях в формировании жирнокислотного профиля молока между исследуемыми группами.

Анализ ассоциации полиморфизма генов *LEP*, *β-LG* и *PRL* с качественными показателями молока овец дагестанской горной породы не выявил статистически значимых различий между исследованными генотипами животных (табл. 4).

Оценка ассоциации полиморфизма гена *LEP* была ограничена неравномерным распределением животных по генотипам. Генотип GG был выявлен у 13 овцематок, тогда как генотип GT — только у одного животного, а генотип TT в исследуемой выборке отсутствовал. В связи с единичной представленностью генотипа GT проведение корректного статистического сравнения и формулирование выводов о его влиянии на состав молока не представлялись возможными.

По гену *β-LG* наиболее высокая средняя калорийность молока отмечена у животных с генотипом AB — $124,19 \pm 17,70$ ккал, тогда как у носителей генотипов AA и BB она составляла $121,38 \pm 4,03$ и $110,99 \pm 6,48$ ккал соответственно. Однако различия между генотипами не достигали статистической значимости ($p = 0,213$). У животных с генотипом AA отмечено несколько более высокое содержание жира — $8,23 \pm 0,65\%$, у носителей генотипа AB — сухого обезжиренного остатка $13,32 \pm 1,61\%$, а у овцематок с генотипом BB — белка, лактозы и минеральных солей. Однако выявленные различия носили числовой характер и не были статистически подтверждены. По остальным показателям молока выраженных различий между генотипами по гену *β-LG* не установлено.

Таблица 4. Ассоциация полиморфизма генов *LEP*, *β-LG* и *PRL* с качественными показателями молока овец дагестанской горной породы ($M \pm SD$)

Table 4. Association of *LEP*, *β-LG* and *PRL* gene polymorphisms with milk composition traits in Dagestan Mountain sheep ($M \pm SD$)

Генотип	n	Жир, %	СВ, %	Белок, %	Лактоза, %	СОМО, %	МС, %	Калорийность, ккал/100 мл
<i>LEP</i>								
GG	13	8,08 ± 0,92	16,69 ± 4,08	4,47 ± 0,3	6,44 ± 0,92	12,99 ± 1,20	0,88 ± 0,06	118,46 ± 12,71
GT	1	7,34	20,21	3,96	7,09	12,97	0,88	121,43
<i>β-LG</i>								
AA	4	8,23 ± 0,65	15,68 ± 4,00	4,42 ± 0,42	6,31 ± 0,94	13,04 ± 0,75	0,86 ± 0,08	121,38 ± 4,03
AB	5	7,97 ± 0,54	18,47 ± 4,87	4,31 ± 0,28	6,43 ± 1,30	13,32 ± 1,61	0,88 ± 0,07	124,19 ± 17,70
BB	5	7,91 ± 1,41	16,41 ± 3,49	4,56 ± 0,28	6,68 ± 0,45	12,62 ± 0,98	0,90 ± 0,02	110,99 ± 6,48
<i>PRL</i>								
AB	3	8,01 ± 0,62	16,98 ± 3,75	4,28 ± 0,40	6,59 ± 1,12	13,05 ± 1,22	0,88 ± 0,01	117,58 ± 4,47
BB	11	8,03 ± 0,99	16,93 ± 4,28	4,47 ± 0,30	6,46 ± 0,90	12,97 ± 1,19	0,89 ± 0,06	118,97 ± 13,79

Примечание: данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Для группы, представленной одним животным, приведены индивидуальные значения.

Таблица 5. Ассоциация полиморфизма генов *LEP*, *β -LG* и *PRL* с качественными показателями молока помесных овец (ДГ $\times$ Л) (М $\pm$ SD)Table 5. Association of *LEP*, *β -LG* and *PRL* gene polymorphisms with milk composition traits in Dagestan Mountain $\times$ Lacaune crossbred sheep (M $\pm$ SD)

Генотип	n	Жир, %	СВ, %	Белок, %	Лактоза, %	COMO, %	МС, %	Калорийность, ккал
<i>LEP</i>								
GG	22	7,27 $\pm$ 1,32	18,12 $\pm$ 3,92	5,25 $\pm$ 0,66	6,15 $\pm$ 1,92	11,22 $\pm$ 3,48	0,97 $\pm$ 0,33	112,48 $\pm$ 13,90
GT	5	6,73 $\pm$ 1,12	14,91 $\pm$ 3,34	5,45 $\pm$ 0,95	4,50 $\pm$ 1,33	8,25 $\pm$ 2,54	0,66 $\pm$ 0,16	105,80 $\pm$ 12,80
TT	4	5,88 $\pm$ 0,67	15,54 $\pm$ 2,52	4,80 $\pm$ 0,43	5,59 $\pm$ 1,42	10,16 $\pm$ 2,58	0,84 $\pm$ 0,21	98,71 $\pm$ 4,73
<i>β-LG</i>								
AA	4	7,93 $\pm$ 1,07	21,11 $\pm$ 1,82*	4,65 $\pm$ 0,38	7,25 $\pm$ 1,43	13,18 $\pm$ 2,59	1,09 $\pm$ 0,22	122,53 $\pm$ 5,09*
AB	15	7,16 $\pm$ 1,51	17,85 $\pm$ 3,72	5,42 $\pm$ 0,64	6,00 $\pm$ 1,76	10,99 $\pm$ 3,20	0,96 $\pm$ 0,33	112,57 $\pm$ 14,39
BB	12	6,50 $\pm$ 0,84	15,27 $\pm$ 3,40	5,17 $\pm$ 0,75	5,10 $\pm$ 1,84	9,27 $\pm$ 3,35	0,77 $\pm$ 0,28	101,66 $\pm$ 9,41
<i>PRL</i>								
AB	4	7,34 $\pm$ 1,22	16,29 $\pm$ 1,05	5,46 $\pm$ 0,61	5,35 $\pm$ 0,85	9,99 $\pm$ 1,74	1,02 $\pm$ 0,47	103,69 $\pm$ 4,35
BB	27	6,95 $\pm$ 1,31	17,41 $\pm$ 4,09	5,19 $\pm$ 0,70	5,88 $\pm$ 1,95	10,70 $\pm$ 3,54	0,88 $\pm$ 0,29	110,51 $\pm$ 14,27

Примечание: * — различия статистически значимы по сравнению с генотипом BB при $p \leq 0,05$.

По гену *PRL* значения исследуемых показателей у животных с генотипами AB и BB находились на близком уровне. Массовая доля жира составляла соответственно 8,01 $\pm$ 0,62 и 8,03 $\pm$ 0,99%, а калорийность молока — 117,58 $\pm$ 4,47 и 118,97 $\pm$ 13,79 ккал. Статистически значимых различий между генотипами по остальным показателям также не выявлено.

Анализ ассоциации полиморфизма генов *LEP*, *β -LG* и *PRL* с качественными показателями молока помесных овцематок выявил статистически значимые межгенотипные различия по отдельным показателям гена *β -LG* (табл. 5).

По гену *LEP* генотип GG характеризовался наиболее высокими средними значениями массовой доли жира — 7,27 $\pm$ 1,32%, сухого вещества — 18,12 $\pm$ 3,92%, сухого обезжиренного остатка — 11,22 $\pm$ 3,48% и калорийности молока — 112,48 $\pm$ 13,90 ккал. У животных с генотипом GT наиболее высокое значение отмечено по содержанию белка — 5,45 $\pm$ 0,95%, тогда как носители генотипа TT характеризовались минимальными показателями жирности и калорийности молока — 5,88 $\pm$ 0,67% и 98,71 $\pm$ 4,73 ккал соответственно. Однако различия между генотипами по исследованным показателям не достигали статистической значимости.

По гену *β -LG* наиболее высокие показатели установлены у животных с генотипом AA. Содержание СВ у носителей генотипа AA составляло 21,11 $\pm$ 1,82%, у носителей AB генотипа — 17,85 $\pm$ 3,72%, а у носителей генотипа BB — 15,27 $\pm$ 3,40%. Значение данного показателя у животных с генотипом AA превышало уровень генотипа BB на 38,2%; различия были статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Животные с генотипом AB занимали промежуточное положение и достоверно не отличались от носителей генотипов AA и BB.

Аналогичная закономерность установлена по калорийности молока. Максимальное значение показателя отмечено у овцематок с генотипом AA — 122,53 $\pm$ 5,09 ккал, промежуточное — у носителей генотипа AB — 112,57 $\pm$ 14,39 ккал, минимальное —

у животных с генотипом BB — 101,66 $\pm$ 9,41 ккал. Калорийность молока у носителей генотипа AA превышала значение генотипа BB на 20,5%; различия были статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Генотип AB достоверно не отличался от генотипов AA и BB.

По содержанию белка максимальное среднее значение отмечено у животных с генотипом AB — 5,42 $\pm$ 0,64%, тогда как у носителей генотипов AA и BB оно составляло 4,65 $\pm$ 0,38 и 5,17 $\pm$ 0,75% соответственно. По остальным показателям статистически значимых различий между генотипами *β -LG* не выявлено.

По гену *PRL* выраженных межгенотипных различий не установлено. У животных с генотипом AB отмечены несколько более высокие значения массовой доли жира, белка и минеральных солей, тогда как носители генотипа BB характеризовались более высокими средними значениями сухого вещества, сухого обезжиренного остатка, лактозы и калорийности молока. Вместе с тем различия между генотипами AB и BB по всем исследованным показателям не достигали статистической значимости.

Выявленные различия свидетельствуют о том, что у помесных животных влияние полиморфизма гена *β -LG* на качественные показатели молока проявлялось более отчетливо, чем у чистопородных овец, статистически значимые межгенотипные различия установлены по содержанию сухого вещества и калорийности молока, тогда как у чистопородных животных различия носили характер тенденции. По генам *LEP* и *PRL* достоверных ассоциаций в обеих группах не было выявлено.

Выводы/Conclusion

Проведенное исследование выявило особенности генетической структуры овец дагестанской горной породы и их помесей с породой лакон по генам *PRL*, *β -LG* и *LEP*. У чистопородных животных установлено преобладание аллеля В гена *PRL* — 91,3% и аллеля G гена *LEP* — 96,3%, что свидетельствует о низкой изменчивости данных локусов. Наибольший уровень полиморфизма отмечен

по гену β -LG, частоты аллелей А и В которого составляли 36,3 и 63,8% соответственно, а ожидаемая гетерозиготность — 46,2%.

У помесных животных наблюдалось увеличение генетического разнообразия по гену *LEP*: частота аллеля Т достигала 15,0%, а ожидаемая гетерозиготность — 25,5%. Ген β -LG также характеризовался наиболее высоким уровнем полиморфизма — около 46%, тогда как минимальная изменчивость установлена по гену *PRL* — 8,0%.

Сравнительный анализ состава молока показал, что овцы дагестанской горной породы превосходили помесных животных по массовой доле жира на 14,6% ($p \leq 0,05$), сухому обезжиренному остатку — на 22,5% ($p \leq 0,01$) и калорийности — на 8,2% ($p \leq 0,05$). У помесных овец содержание белка было выше на 17,9% ($p \leq 0,001$). Различия между группами также проявлялись в содержании отдельных компонентов жирнокислотного профиля.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке Фонда содействия инновациям (программа «Студенческий стартап»)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Христиановский П.И., Платонов С.А., Медетов Е.С., Алдыяров Т.Б. Методы интенсификации воспроизводства в овцеводстве (обзор). *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022; (3): 259–263. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-259-263>
- Суров А.И. и др. Использование метода генотипирования для отбора животных желательного типа. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(4): 136–157. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-4-136-157>
- Суров А.И., Сулыга Н.В., Карпова Е.Д., Евлагина Д.Д. Перспективы развития отрасли молочного овцеводства. *Зоотехния*. 2024; (9): 22–26. EDN CZPMJV
- Pulina G. et al. *Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. Journal of Dairy Science*. 2018; 101(8): 6715–6729. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14015>
- Сибгатуллова А.К., Даминова А.И., Падило Л.П., Семиволос А.М. Молекулярно-генетические и биотехнологические инновационные методы в современном животноводстве (обзор). *Аграрный научный журнал*. 2023; (10): 128–133. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp128-133>
- Столповский Ю.А., Пискунов А.К., Свищева Г.Р. Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития. *Генетика*. 2020; 56(9): 1006–1017. <https://doi.org/10.31857/S0016675820090143>
- Суров А.И., Степаненко В.А., Галанова Е.С., Синякина Е.В., Карпова Е.Д. Перспективные гены-кандидаты, ассоциированные с продуктивностью молочных коз. *Аграрная наука*. 2025; (9): 69–81. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-69-81>
- Bole-Feysot C., Goffin V., Edery M., Binart N., Kelly P.A. Prolactin (*PRL*) and Its Receptor: Actions, Signal Transduction Pathways and Phenotypes Observed in *PRL* Receptor Knockout Mice. *Endocrine Reviews*. 1998; 19(3): 225–268. <https://doi.org/10.1210/edrv.19.3.0334>
- Houšeknecht K.L., Baile C.A., Matteri R.L., Spurlock M.E. The biology of leptin: a review. *Journal of Animal Science*. 1998; 76(5): 1405–1420. <https://doi.org/10.2527/1998.7651405x>
- Selvaggi M., Laudadio V., Dario C., Tufarelli V. β -Lactoglobulin Gene Polymorphisms in Sheep and Effects on Milk Production Traits: A Review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2015; 3(9): 478–484. <https://doi.org/10.14737/journal.aavs/2015/3.9.478.484>
- Евлагина Д.Д. Полиморфизм генов пролактина (*PRL*), бета-лактоглобулина (β -LG) овец породы лакон и их связь с молочной продуктивностью. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2021; 7(4): 335–342. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-4-335-342>
- Селионова М.И., Трухачев В.И., Зиновьева Н.А., Белоус А.А., Айбазов А.-М.М. Полногеномный поиск ассоциаций однонуклеотидных замен с показателями качества молока у овец (*Ovis aries* L.) породы лакон. *Сельскохозяйственная биология*. 2024; 59(4): 735–748. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.735rus>
- Abousoliman I. et al. Analysis of Candidate Genes for Growth and Milk Performance Traits in the Egyptian Barki Sheep. *Animals*. 2020; 10(2): 197. <https://doi.org/10.3390/ani10020197>
- Jawasreh K., Amareen A.A., Aad P. Effect and Interaction of β -Lactoglobulin, Kappa Casein, and Prolactin Genes on Milk Production and Composition of Awassi Sheep. *Animals*. 2019; 9(6): 382. <https://doi.org/10.3390/ani9060382>

У чистопородных овец статистически значимых ассоциаций полиморфизма генов *LEP*, β -LG и *PRL* с исследованными качественными показателями молока не установлено.

У помесных животных наиболее выраженные различия между генотипами выявлены по гену β -LG. Овцематки с генотипом AA превосходили носителей генотипа BB по содержанию сухого вещества на 38,2% и калорийности молока — на 20,5% ($p \leq 0,05$), тогда как животные с генотипом АВ занимали промежуточное положение. По генам *PRL* и *LEP* статистически значимых различий выявлено не было.

Полиморфизм гена β -LG может рассматриваться как потенциальный молекулярно-генетический маркер отдельных качественных показателей молока помесных овец дагестанская горная $\times$ лакон. Выявленные ассоциации требуют подтверждения на более многочисленных выборках с равномерной представленностью генотипов.

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

FUNDING

The research was supported by the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (Student Startup Program).

REFERENCES

- Khristianovsky P.I., Platonov S.A., Medetov Ye.S., Aldyarov T.B. Methods of intensification of reproduction in sheep breeding (review). *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; (3): 259–263 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-259-263>
- Surov A.I. et al. The Use of Genotyping to Select Desired-Type Animals. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(4): 136–157 (in Russian). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-4-136-157>
- Surov A.I., Suliga N.V., Karpova E.D., Evlagina D.D. Prospects for the development of the dairy sheep industry. *Zootekhnika*. 2024; (9): 22–26 (in Russian). EDN CZPMJV
- Pulina G. et al. *Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. Journal of Dairy Science*. 2018; 101(8): 6715–6729. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14015>
- Sibgatullova A.K., Daminova A.I., Padilo L.P., Semivolos A.M. Molecular genetic and biotechnological innovative methods in modern animal husbandry (review). *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; 10: 128–133 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp128-133>
- Stolpovsky Y.A., Piskunov A.K., Svishcheva G.R. Genomic Selection. I: Latest Trends and Possible Ways of Development. *Russian Journal of Genetics*. 2020; 56(9): 1044–1054. <https://doi.org/10.1134/S1022795420090148>
- Surov A.I., Stepanenko V.A., Galanova E.S., Sinyakina E.V., Karpova E.D. Promising candidate genes associated with dairy goat productivity. *Agrarian science*. 2025; (9): 69–81 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-69-81>
- Bole-Feysot C., Goffin V., Edery M., Binart N., Kelly P.A. Prolactin (*PRL*) and Its Receptor: Actions, Signal Transduction Pathways and Phenotypes Observed in *PRL* Receptor Knockout Mice. *Endocrine Reviews*. 1998; 19(3): 225–268. <https://doi.org/10.1210/edrv.19.3.0334>
- Houšeknecht K.L., Baile C.A., Matteri R.L., Spurlock M.E. The biology of leptin: a review. *Journal of Animal Science*. 1998; 76(5): 1405–1420. <https://doi.org/10.2527/1998.7651405x>
- Selvaggi M., Laudadio V., Dario C., Tufarelli V. β -Lactoglobulin Gene Polymorphisms in Sheep and Effects on Milk Production Traits: A Review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2015; 3(9): 478–484. <https://doi.org/10.14737/journal.aavs/2015/3.9.478.484>
- Evlagina D.D. Polymorphism of prolactin (*PRL*) and beta-lactoglobulin (β -LG) genes in the Lacane sheep and their relationship with milk productivity. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2021; 7(4): 335–342 (in Russian). <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-4-335-342>
- Selionova M.I., Trukhachev V.I., Zinovieva N.A., Belous A.A., Aybazov A.-M.M. Search for genome-wide associations of single nucleotide polymorphisms with milk quality traits in sheep (*Ovis aries* L.) of Lacon breed. *Agricultural Biology*. 2024; 59(4): 735–748. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.735eng>
- Abousoliman I. et al. Analysis of Candidate Genes for Growth and Milk Performance Traits in the Egyptian Barki Sheep. *Animals*. 2020; 10(2): 197. <https://doi.org/10.3390/ani10020197>
- Jawasreh K., Amareen A.A., Aad P. Effect and Interaction of β -Lactoglobulin, Kappa Casein, and Prolactin Genes on Milk Production and Composition of Awassi Sheep. *Animals*. 2019; 9(6): 382. <https://doi.org/10.3390/ani9060382>

15. Хожоков А.А., Абакаров А.А. Дагестанской горной породе овец — 75 лет. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2025; (2): 5–8. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2025-2-5-8>
16. Пахомова Е.В., Ханбабаев В.Р. Мясная продуктивность овец дагестанской горной породы КФХ Бремев Б.Г. Республики Дагестан. *Наука без границ*. 2020; (12): 5–9. EDN ZUBFTR
17. Мурзаева А.Н., Исаева Н.Г., Чубуркова С.С., Азизова З.А. Минеральный состав молозива и молока овец дагестанской горной породы. *Проблемы развития АПК региона*. 2024; (1): 123–127. EDN BDSBUI
18. Лакота Е.А. Продуктивность помесных с австралийским мясным мериносом овец ставропольской породы в Поволжье. *Аграрная наука*. 2019; (2): 42–43. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-322-2-42-43>
19. Абдулмуслимов А.М., Юлдашбаев Ю.А., Пахомова Е.В., Юсупов З.М., Чабаяев М.Г. Зоотехническая характеристика овец Дагестанской горной породы и ее помесей с баранами породы дорпер. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2025; (3): 19–22. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2025-3-19-22>
20. Лушников В.П., Стрельчук А.А., Калашникова Л.А., Сенина Р.Ю. Влияние полиморфизма гена *LEP* 387 на мясную продуктивность овец эдильбаевской породы. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2020; (3): 12–14. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2020-3-12-14>

ОБ АВТОРАХ

Екатерина Дмитриевна Карпова^{1,2}

кандидат биологических наук,
–заведующая лабораторией перспективных молочных ресурсов¹,
–доцент кафедры кормления животных и общей биологии²
lucziwa@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3900-4434>

Валерия Александровна Степаненко¹

младший научный сотрудник
stepanenko-lera@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7740-450X>

Александр Иванович Суров¹

доктор сельскохозяйственных наук,
главный научный сотрудник
surov.stv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3892-6621>

Арслан Ахметович Омаров¹

кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
omarov1977@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9484-6178>

Валентина Михайловна Шпыгова²

доктор биологических наук, доцент
профессор кафедры паразитологии
и ветсанэкспертизы, анатомии и патанатомии
им. профессора С.Н. Никольского
spygova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5227-2444>

¹ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, ул. им. Никонова 49, Михайловск, Ставропольский край, 356241, Россия

² Ставропольский государственный аграрный университет, пер. Зоотехнический, 12, Ставрополь, 355017, Россия

15. Khozhokov A.A., Abakarov A.A. The Dagestan mountain sheep breed is 75 years' old. *Sheep, goats, wool business*. 2025; (2): 5–8 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2025-2-5-8>
16. Pahomova E.V., Hanbabaev V.R. Meat productivity of sheep of the Dagestan mountain breed in the peasant farm enterprise Bremov B.G. of the Republic of Dagestan. *Science Without Borders*. 2020; (12): 5–9 (in Russian). EDN ZUBFTR
17. Murzayeva A.N., Isaeva N.G., Chuburkova S.S., Azizova Z.A. The mineral composition of colostrum and milk of sheep of Dagestan rock. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2024; (1): 123–127 (in Russian). EDN BDSBUI
18. Lakota E.A. Productivity of Stavropol sheep with Australian meat merino rocks in the Volga region. *Agrarian science*. 2019; (2): 42–43 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-322-2-42-43>
19. Abdumuslimov A.M., Yuldashbaev Yu.A., Pakhomova E.V., Yusupov Z.M., Chabaev M.G. Zootechnical characteristics of Dagestan mountain sheep and their hybrids with Dorper sheep. *Sheep, goats, wool business*. 2025; (3): 19–22 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2025-3-19-22>
20. Lushnikov V.P., Strelchuk A.A., Kalashnikova L.A., Senina R.Yu. Influence of polymorphism of *LEP* 387 gene on meat productivity of a sheep Edilbaevsky breed. *Sheep, goats, wool business*. 2020; (3): 12–14 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2020-3-12-14>

ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina Dmitrievna Karpova^{1,2}

Candidate of Biological Sciences,
–Head of the Laboratory of Advanced Dairy Resources¹,
–Associate Professor, Department of Animal Nutrition and General Biology²
lucziwa@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3900-4434>

Valeria Alexandrovna Stepanenko¹

Junior Researcher
stepanenko-lera@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7740-450X>

Alexander Ivanovich Surov¹

Doctor of Agricultural Sciences,
Chief Researcher
surov.stv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3892-6621>

Arslan Akhmetovich Omarov¹

Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
omarov1977@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9484-6178>

Valentina Michajlovna Shpygova²

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
Department of Parasitology and Veterinary Sanitary
Expertise, Anatomy and Pathological Anatomy named
after Professor S.N. Nikolsky
spygova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5227-2444>

¹ North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, 49 Nikonov st., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, Russia

² Stavropol State Agrarian University, 12 Zootekhnicheskoy Lane, Stavropol, 355017, Russia

УДК 633.34:631.5

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-78-83

Р.В. Окунев¹ ✉

С.В. Белякова¹

Л.Р. Мухаметвалеев²

П.А. Курынцева¹

А.Л. Тойгильдин²

С.Ю. Селивановская¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия

✉ tutinkaz@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.04.2026

Одобрена после рецензирования: 11.09.2026

Принята к публикации: 25.09.2026

© Окунев Р.В., Белякова С.В., Мухаметвалеев Л.Р., Курынцева П.А., Тойгильдин А.Л., Селивановская С.Ю.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-78-83

Rodion V. Okunev¹ ✉

Svetlana V. Belyakova¹

Linar R. Mukhametvaleev²

Polina A. Kuryntseva¹

Aleksandr L. Toigildin²

Svetlana Yu. Selivanovskaya¹

¹Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

²Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia

✉ tutinkaz@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.04.2026

Accepted in revised: 11.09.2026

Accepted for publication: 25.09.2026

© Okunev R.V., Belyakova S.V., Mukhametvaleev L.R., Kuryntseva P.A., Toigildin A.L., Selivanovskaya S.Yu.

Влияние технологии прямого посева с промежуточными культурами на динамику меди в почве и растениях сои

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В последнее время в сельском хозяйстве внедряются щадящие технологии, которые минимизируют вмешательство человека в почвенный покров, такие как технологии прямого посева. Часто данные технологии вводятся с элементами биологизации, которые способны дополнительно повышать доступность элементов питания. Однако влияние этих технологий на распределение меди в системе почва-растения сои изучено недостаточно. Целью данной работы являлось сравнение влияния агротехнологий с применением прямого посева (без промежуточных культур, а также с промежуточными яровыми и озимыми культурами) на содержание и распределение меди в почве, корнях и надземной биомассе растений сои.

Методы. Исследование проводилось на черноземах выщелоченных в рамках четырех агротехнологий: традиционная обработка, прямой посев, прямой посев с яровыми и с озимыми промежуточными культурами. Отбор проб проводили в июне, июле и сентябре. Содержание меди определяли атомно-абсорбционным методом.

Результаты. Концентрация меди в почве, корнях и надземной биомассе сои существенно варьировала в зависимости от срока отбора и примененной агротехнологии. Технологии с элементами биологизации лучше накапливали элемент в определенные периоды роста. Внесение удобрения не оказывало однозначного положительного эффекта, а в варианте с озимыми промежуточными культурами приводило к снижению содержания меди на 10–40%. В сое, выросшей с промежуточными культурами, содержание элемента в июне и июле обычно не ниже, чем для вариантов с традиционной обработкой или обычным прямым посевом.

Ключевые слова: медь, почва, соя, прямой посев, биологизация земледелия, промежуточные культуры, почвопокровные культуры

Для цитирования: Окунев Р.В., Белякова С.В., Мухаметвалеев Л.Р., Курынцева П.А., Тойгильдин А.Л., Селивановская С.Ю. Влияние технологии прямого посева с промежуточными культурами на динамику меди в почве и растениях сои. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 78–83.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-78-83>

The influence of direct seeding technology with intercrops on the dynamics of copper in soil and soybean plants

ABSTRACT

Relevance. Recently, conservation agriculture practices that minimize human intervention in the soil cover, such as direct seeding, have been introduced. These practices are often combined with biologization elements, which can further increase nutrient availability. However, the impact of these practices on copper distribution in the soil-soybean system has been poorly studied. The aim of this study was to compare the impact of direct seeding practices (without intercrops, as well as with spring and winter intercrops) on copper content and distribution in the soil, roots, and aboveground biomass of soybean plants.

Methods. The study was conducted on leached chernozems using four different practices: conventional tillage, direct seeding, and direct seeding with spring and winter intercrops. Sampling was conducted in June, July, and September. Copper content was determined using atomic absorption spectroscopy.

Results. Copper concentrations in the soil, roots, and aboveground soybean biomass varied significantly depending on the sampling period and the agricultural technology used. Biologization-based technologies accumulated the element better during certain growth periods. Fertilization had no clear positive effect, and in the case of winter cover crops, it led to a 10–40% decrease in copper content. In soybeans grown with cover crops, copper content in June and July was generally no lower than in the case of traditional tillage or direct seeding.

Key words: copper, soil, soybeans, direct seeding, biologization of agriculture, catch crops, cover crops

For citation: Okunev R.V., Belyakova S.V., Mukhametvaleev L.R., Kuryntseva P.A., Toigildin A.L., Selivanovskaya S.Yu. The influence of direct seeding technology with intercrops on the dynamics of copper in soil and soybean plants. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 78–83 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-78-83>

Введение/Introduction

В настоящее время соя является одной из наиболее востребованных культур в России и Беларуси, что обусловлено высоким содержанием в ее семенах белка (достигающим 33–45%) [1–3], а также комбинацией других питательных компонентов, обуславливающих ее высокую биологическую ценность: незаменимыми аминокислотами, жирными кислотами, полезными биологически активными веществами, такими как изофлавоны и фитостеролы [2, 4]. В нашей стране площади посева культуры превысили 3 млн га по состоянию на 2023 год [5]. Формирование урожая данной культуры требует сбалансированного минерального питания. Среди микроэлементов медь занимает особое место в метаболизме сои и других растений. Выступая в роли активатора ключевых ферментов, медь регулирует окислительно-восстановительный баланс клеток, синтез азотистых соединений и необходима для симбиотической фиксации азота, она частично сосредоточена в хлоропластах и участвует в фотосинтезе [6, 7]. Обычно содержание меди в растениях находится в диапазоне 1–30 мг/кг [8]. Данный микроэлемент играет важную роль в формировании неспецифического иммунитета растений: при оптимальном медном питании усиливается сопротивляемость инфекциям, повышается устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды [9].

Несмотря на то, что, с агрохимической точки зрения, медь выступает лимитирующим продуктивностью растений элементом, с экологической позиции, она может являться поллютантом. Переход от недостаточного содержания к избыточному происходит при относительно небольшом увеличении доступных форм меди в почве. Допустимая концентрация подвижных форм меди всего 3 мг/кг (СанПиН 1.2.3685-21¹) и является одним из самых низких среди металлов, что указывает на высокую чувствительность почвы загрязнению данным элементом. Избыток меди ограничивает рост растений и накопление биомассы, вызывает окислительный стресс, снижает урожайность [10, 11]. В этой связи мониторинг содержания меди в почвах и оценка ее поступления в сельскохозяйственные культуры остается актуальной задачей, что особенно важно в условиях развития современных систем земледелия.

В настоящее время сельскохозяйственными предприятиями активно внедряются технологии минимализации обработки с элементами биологизации, например, такие технологии как прямой посев с применением промежуточных культур. С точки зрения агроэкологии, подобные почвозащитные технологии имеют ряд преимуществ, включая накопление углерода в почвах, борьбу с эрозией, снижение выбросов парниковых газов, улучшение физических свойств почвы и т.д. [12–15]. Они

способны влиять на доступность меди и других микроэлементов за счет изменения микробиологической активности, параметров органического вещества почвы, изменения окислительно-восстановительных и буферных свойств почвы.

Целью данной работы является сравнение влияния различных агротехнологий с применением прямого посева (прямой посев без промежуточных культур, прямой посев с яровыми почвопокровными промежуточными культурами и прямой посев с озимыми почвопокровными промежуточными культурами) на содержание и распределение меди в почве, корнях и надземной биомассе сои. Содержание меди определяли в динамике по трем временным точкам отбора в вариантах, как без внесения удобрений, так и с внесением комплексного азотно-фосфорно-калийного удобрения.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проведены в рамках стационарного полевого опыта, описанного ранее [16]. Опыт проводился на черноземе выщелоченном среднесуглинистом в Чердаклинском районе Ульяновской области. Севооборот состоял из следующих культур: рапс яровой — озимая пшеница — соя — яровая пшеница — гречиха — ячмень. Соя (*Glycine max* L.) сорта УСХИ-6 высевалась после озимой пшеницы. Посев проводился сеялкой «Десна-Полесье» СПС-4000 в агрегате с трактором МТЗ-1221. Норма высева — 0,7 млн семян/га. В опыте применялись четыре варианта агротехнологий:

- традиционная обработка почвы (Т),
- прямой посев без промежуточных культур (NT),
- прямой посев с яровыми почвопокровными промежуточными культурами (NT-Я);
- прямой посев с озимыми почвопокровными промежуточными культурами (NT-О) в севообороте.

Каждый вариант представлен двумя фонами питания: без применения удобрений и с внесением комплексного азотно-фосфорно-калийного удобрения марки NPK(S) 8:19:29 (3) + 0,2 Zn с нормой 80 кг/га при посеве.

Площадь опытных делянок — 108 м². Промежуточные культуры в севообороте высевали после озимой пшеницы. Смесь яровых почвопокровных культур (норма высева 13,5 кг/га) состояла из дайкона, редьки, вики, чечевицы, овса, суданской травы, фацелии и льна. Смесь озимых почвопокровных культур (норма высева смеси — 25 кг/га) включала озимую рожь и озимую вику. Почвы опытного участка характеризовались следующими показателями: содержание органического углерода — 3,1–3,9%, pH_{водн.} — 5,9–7,6, емкость катионного обмена — 12,3–48,3 мг-экв/100 г.

¹ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2. Москва: Роспотребнадзор, 2021. – 987 с.

Почвы, корни и надземная часть растений сои для определения содержания меди отбирались в июне (стадия 2-4 тройчатого листа), июле (цветение R1/R2) и сентябре (созревание). Отбор почвы проводился из слоя 0-20 см методом конверта. Образцы высушивали до воздушно-сухого состояния. Растения высушивали и измельчали. Содержание меди определяли с использованием электротермического атомно-абсорбционного спектрометра ICE 3000 (Thermo Fisher Scientific, США) согласно ПНД Ф 16.2.2:2.3:71-2011² после извлечения элемента ацетатно-аммонийным буфером (рН 4,8) из почв и кислотного разложения — из растительного материала.

Математическую обработку проводили в пакетах анализа MS Excel и Statgraphics Plus (США). Статистическая обработка включает многофакторный ANOVA, множественное сравнение средних ($p < 0,05$) и метод главных компонент, что соответствует современным требованиям. Результаты представлены в виде средних значений со стандартным отклонением. Для сравнения результатов анализов проводился многофакторный дисперсионный анализ и множественное сравнение средних ($n = 3$, $p < 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

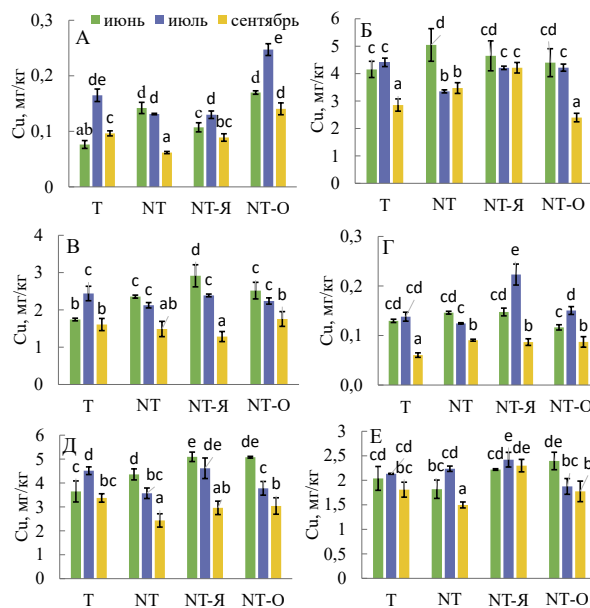
Результаты многофакторного дисперсионного анализа показали, что агротехнология оказала значимое влияние на содержание меди в почвах ($F = 5,15$; $p < 0,003$), корнях ($F = 4,76$; $p < 0,005$) и надземной биомассе растений ($F = 4,51$; $p < 0,006$). Концентрация элемента также существенно варьировала в зависимости от срока отбора проб ($F = 25,7-48,4$; $p < 0,001$ для всех объектов исследования).

В вариантах опыта, где удобрения с посевом не вносились, концентрация подвижной меди в почвах (рис. 1А) находилась в диапазоне от 0,06 до 0,26 мг/кг. Коэффициенты вариации (КВ) содержания элемента в зависимости от срока отбора варьировали в диапазоне от 26,4 до 31,1%. За исключением NT, для всех способов обработки наблюдается увеличение концентрации элемента в июле, а затем — снижение в сентябре. В варианте NT повышения содержания в июле не наблюдалось, но к сентябрю также произошло его снижение. Наибольшее содержание элемента было выявлено для варианта с NT-О.

В корнях растений (рис. 1Б) содержание меди варьировало от 2,22 до 5,73 мг/кг. Его концентрация варьировала в меньшем диапазоне, чем в почвах (10,8-22,6%). Для всех вариантов опыта в сентябре содержание элемента было ниже, чем в июне, а для Т и NT-О ниже, чем в июле. В июне наибольшее содержание элемента выявили для варианта NT, а в конце вегетации — для варианта NT-Я.

Рис. 1. Содержание меди в почве (А, Г), корнях (Б, Д) и надземной биомассе (В, Е) сои в зависимости от системы обработки: Т — традиционная обработка, NT — прямой посев, NT-Я — прямой посев с яровыми промежуточными культурами, NT-О — прямой посев с озимыми промежуточными культурами в течение вегетационного периода (июнь, июль и сентябрь). А, Б, В — без применения удобрений, Г, Д, Е — с внесением комплексного удобрения

Fig. 1. Copper content in soil (A, G), roots (B, D) and aboveground biomass (C, E) of soybeans depending on the cultivation system: T — traditional cultivation, NT — direct seeding, NT-Я — direct seeding with spring catch crops, NT-О — direct seeding with winter catch crops during the growing season (June, July and September). A, B, C — without the use of fertilizers, G, D, E — with the application of complex fertilizer



В надземной биомассе растений (рис. 1В) содержание элемента находилось в диапазоне от 1,17 до 3,26 мг/кг, а КВ составили 7,0-21,0%. Для всех вариантов, где был реализован прямой посев содержание меди в сентябре было ниже, чем в июне и июле. Наименьшие и наибольшие значения обнаружены в варианте NT-Я.

При применении удобрений концентрация меди в почвах и корнях растений находилась примерно в тех же диапазонах, что и в вариантах без удобрений (0,06-0,24 мг/кг и 2,16-5,31 мг/кг соответственно). В почвах для всех вариантов опыта наблюдалось снижение содержания меди в сентябре. В июле в вариантах NT-Я и NT-О наблюдалось увеличение содержания по сравнению с предыдущим месяцем (июнем). Наименьшее содержание наблюдается в сентябре в варианте Т, наибольшее — в июле при NT-Я. В корнях растений при внесении комплексного удобрения для всех вариантов опыта с прямым посевом содержание меди снижалось в течение вегетационного периода, тогда как в варианте Т оно возрастало в июле и затем снижалось. Наибольшее содержание элемента было обнаружено в начале вегетации в вариантах NT-Я и NT-О.

² ПНД Ф 16.2.2:2.3:71-2011 «Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами». Москва: ФБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия», 2011. – 45 с.

При внесении удобрения в надземной части растений содержание меди варьировало в более узком диапазоне концентраций, чем в вариантах без внесения удобрений (1,43–2,60 мг/кг). Наибольшие концентрации элемента зафиксированы в июне для варианта NT-О, а в июле и сентябре — для варианта NT-Я.

Для дополнительной оценки влияния агротехнологий на содержание меди был проведен анализ методом главных компонент. Сведения, полученные по почвам, корням и надземной части растений, рассматривались с помощью данного метода по отдельности (рис. 2А, Б и В). Результаты показали, что три главных компонента (ГК) в сумме объясняют общую дисперсию на 97,7, 88,0 и 83,6% соответственно.

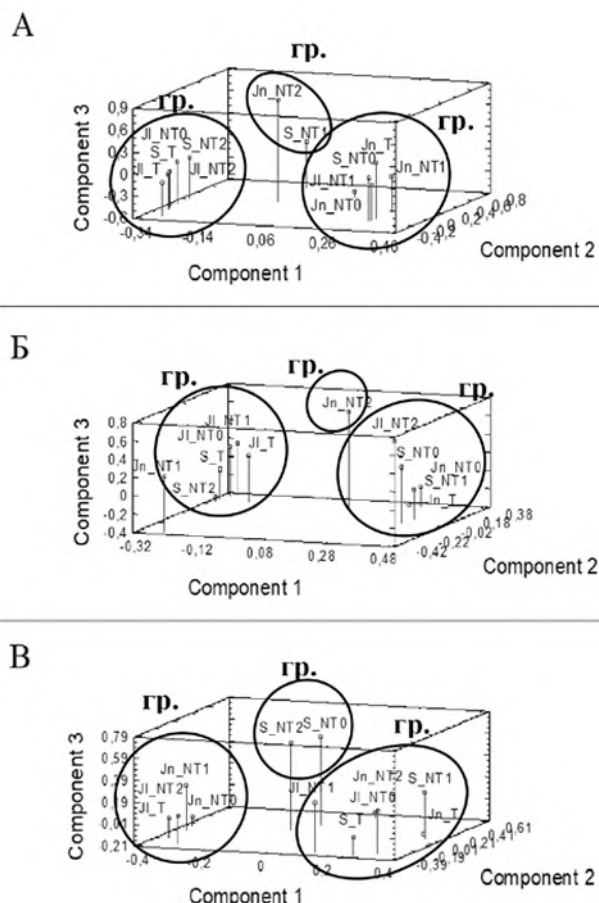
В случае с почвами можно выделить три группы (кластера). В первую группу (гр. 1) входят варианты, отобранные в июне (Т, NT, NT-Я) и сентябре (NT) (рис 2А). Группа находится в области положительных значений по главной компоненте 1 (ГК1), что может свидетельствовать о схожем поведении меди для большинства вариантов агротехнологий в начале вегетации, кроме варианта NT-О, который входит в отдельную группу (гр. 3), демонстрируя сильную зависимость от третьей компоненты (ГК3). Во второй кластер (гр. 2) вошли образцы, отобранные во второй половине вегетации (в июле и сентябре), за исключением технологии NT-Я. Эта группа была смещена в область отрицательных значений по ГК1. В июле вариант NT-Я входит в гр. 2, а в сентябре — в гр. 3.

Анализ определения содержания меди в корнях растений показал, что полученные данные также сгруппировались в три кластера (рис. 2Б). В области положительных значений по ГК1 обнаруживались образцы, отобранные в июне (Т, NT) и сентябре (NT, NT-Я). Также с ними в одной группе оказался вариант NT-О (июль), который при анализе почвенных образцов находился в гр. 3. Вторая группа (гр. 2), как и для почв, находится в области отрицательных значений по ГК1, но кластер немного смещен в сторону положительных значений по ГК2. В состав группы преимущественно входят варианты образцов, отобранных в июле и сентябре, кроме варианта NT-О (июль), который переместился в ГК1, а также варианта NT-Я, который появился в этом кластере. Для корней сои вариант NT-О в июне, как и для почвы, занимает отдельную область, находясь под большим влиянием ГК3. В целом, обнаруженное сходство в кластерах для почвы и для корней (в отношении большинства вариантов) позволяет предположить, что содержание меди в системе почва-корни определяется похожим набором факторов.

В надземной части растений сои наблюдаются некоторые изменения в выделенных группах (рис. 2В). В сентябре в группу в центре входят варианты NT и NT-Я. Часть вариантов отделились из левой части графика, одновременно из в правой части в гр. 2 перешли образцы NT и NT-Я, отобранные в июне.

Рис. 2. Результаты анализа методом главных компонент содержания подвижной меди в почве (А), корнях (Б) и надземной биомассе (В) сои. Образцы представлены в координатах первых трех главных компонент (Component 1, 2, 3) и характеризуют аккумуляцию меди в июне (Jn), июле (Jl) и сентябре (S) при выращивании сои методами традиционной обработки (Т), прямого посева (NT0), прямого посева с яровыми (NT1) и с озимыми (NT2) почвопокровными промежуточными культурами

Fig. 2. Results of a principal component analysis of available copper content in soil (A), roots (B), and aboveground biomass (C) of soybeans. The samples are presented in the coordinates of the first three principal components (Components 1, 2, 3) and characterize copper accumulation in June (Jn), July (Jl), and September (S) during soybean cultivation using conventional tillage (T), direct seeding (NT0), direct seeding with spring (NT1), and with winter (NT2) groundcover crops



Полученные результаты анализа содержания подвижных соединений меди свидетельствуют о том, что ее концентрация в изучаемых почвах являлась низкой по сравнению с показателями для почв Ульяновской области, в том числе для черноземов выщелоченных [17, 18], что говорит об отсутствии риска загрязнения им растений. Большинство вариантов опыта, независимо от времени отбора проб, находились в зоне низкой обеспеченности элементом (< 2 мг/кг). В растениях сои содержание элемента при этом было сопоставимо с данными, найденными в литературе [9].

Наиболее заметно по содержанию меди в почве отличался вариант NT-О. В отсутствие удобрения его концентрация поддерживалась в течение вегетационного периода на относительно высоком уровне (0,12–0,26 мг/кг), однако при внесении удобрения содержание меди в этом варианте

снижалось на 10-40%. Согласно результатам анализа методом ГК, в июне, за исключением NT-О, в почвах концентрация меди демонстрировала сходный «базовый» уровень содержания, что, вероятно, говорит о нивелировании различий в поведении элемента в начале сезона вне зависимости от варианта опыта. В июле содержание элемента в вариантах NT-Я и NT-О значительно возросло при применении удобрения и без него. Вероятно, это связано с минерализацией растительных остатков промежуточных культур, которая к июлю приводит к высвобождению дополнительной меди. Данное предположение согласуется с результатами предыдущих исследований на данном стационарном опыте, показавшими более высокую интенсивность минерализации гумуса в вариантах с применением яровых и озимых промежуточных культур [16]. Однако повышение содержания меди могло быть обусловлено и другими механизмами. На накопление элемента могла повлиять жизнедеятельность микроорганизмов [19]. Поступление свежего органического вещества от промежуточных культур могло стимулировать увеличение пула микробной биомассы, которая способна как аккумулировать медь, так и участвовать в увеличении ее лабильности. При последующем отмирании микроорганизмов медь высвобождается, увеличивая пул ее подвижных форм в почве. Во-вторых, растения сои выделяют низкомолекулярные органические кислоты, которые способны изменять pH в ризосфере, а также увеличивать мобильность меди путем образования хелатных комплексов, повышая ее доступность. Показано, что как раз в период цветения (в июле) выделяется наибольшее количество корневых экссудатов [20].

В корнях и надземной биомассе этих вариантов содержание элемента в июне и июле обычно выше либо не ниже, чем для вариантов Т и NT (за исключением варианта NT-О в июле при применении удобрения).

К июлю в корнях растений в большинстве из вариантов концентрация снижалась, что может объясняться эффектом разбавления при росте биомассы. Исключение составляли варианты с традиционной вспашкой (Т), где содержание

элемента оставалось на уровне июня, либо повышалось. В сентябре во всех вариантах наблюдалось снижение концентрации элемента, что, вероятно, связано с его оттоком в семена.

Ранее на данном стационарном опыте было показано, что применение промежуточных культур способствовало росту урожайности сои с 1,44 при NT до 1,55 и 1,65 т/га при NT-Я и NT-О соответственно [21]. В целом, учитывая высокую роль меди в азотфиксации и биосинтезе белка, создаются предпосылки для формирования семян с его повышенным содержанием. Подобные агротехнологии, обеспечивающие более эффективное поступление меди в определенные периоды вегетации, могут рассматриваться как перспективные для повышения не только урожайности, но и качественных характеристик зерна, однако данное предположение требует подтверждения в ходе последующих исследований.

Выводы/Conclusion

Результаты проведенного полевого опыта показали, что влияние агротехнологий на содержание меди в почве и растениях не было однозначным и зависело от срока отбора проб. Технологии прямого посева с промежуточными яровыми и озимыми культурами в отдельные периоды вегетации (июнь-июль), вероятно, склонны обеспечивать более высокое содержание элемента по сравнению с вариантами без промежуточных культур. Повышение концентрации подвижной меди в почве в июле, предположительно, может быть связано с высвобождением элемента при минерализации растительных остатков промежуточных культур, с аккумуляцией и последующим высвобождением меди микробной биомассой, а также с мобилизацией меди корневыми экссудатами.

Применение комплексного удобрения не оказало однозначно положительного влияния на поступление меди в растения. В среднем содержание меди в почвах и растениях при внесении удобрений оставалось в тех же пределах, что и в вариантах без удобрений, а в некоторых случаях (например, в варианте с озимыми промежуточными культурами) наблюдалось даже его снижение.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нафиков М.М., Смирнов С.Г., Краснов А.В., Шашкаров Л.Г. Особенности применения способов обработки почвы при возделывании сои в лесостепной зоне. *Аграрная наука*. 2024; (4): 70–74. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74>
2. Хитриук О.А., Тарануха В.Г. Влияния микроэлементов на формирование структуры урожайности и зерновой продуктивности сортов сои в условиях Северо-Восточной части Республики Беларусь. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023; (4): 34–38. EDN XFEJMW
3. Фокина Е.М., Разантцев Д.Р. Создание новых сортов сои для расширения ареала возделывания культуры. *Агрономия*. 2025; 3(4): 5–15. EDN KLLFMB

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

FUNDING

This research was funded by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment in the sphere of scientific activities, project № FZSM-2024-0004

REFERENCES

1. Nafikov M.M., Smirnov S.G., Krasnov A.V., Shashkarov L.G. Features of the application of soil cultivation methods in the cultivation of soybeans in the forest-steppe zone. *Agrarian science*. 2024; (4): 70–74 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74>
2. Khitriuk O.A., Taranukho V.G. The influence of microelements on the formation of yield structure and grain productivity of soy varieties in the conditions of the north-eastern part of the Republic of Belarus. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2023; (4): 34–38 (in Russian). EDN XFEJMW
3. Fokina E.M., Razantzev D.R. Creation of new soybean varieties to expand the range of cultivation. *Agroscience*. 2025; 3(4): 5–15 (in Russian). EDN KLLFMB

4. Rotundo J.L. *et al.* European soybean to benefit people and the environment. *Scientific Reports*. 2024; 14: 7612. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57522-z>
5. Панфилов А.А., Мальцев Е.А., Лисичкин Н.С., Мозгова Е.К., Сорокина М.В. Производство сои в Российской Федерации. *Научный журнал молодых ученых*. 2024; (5): 32–37. EDN ZCACRPW
6. Chandra Sheker B., Radder B.M., Didal V.K., Amruth B., Kiran A. Micronutrient (Cu, Zn, Fe and Mn) Uptake in Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] Growing Soils of Dharwad Taluk (Karnataka). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017; 6(7): 397–403. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.047>
7. Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Тукмачева Е.В. Молибден и медь в системе удобрения сои. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024; 16(5): 221–242. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-5-982>
8. Kumar V. *et al.* Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. *Chemosphere*. 2021; 262: 127810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>
9. Akhtar M.T., Lu Z., Ren S.-x., Zou H.-l., Noor I., Jin B. Copper homeostasis: Crosstalk with plant secondary metabolism and stress responses. *Plant Science*. 2026; 362: 112795. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112795>
10. Куликова А.Л., Кузнецова Н.А., Холодова В.П. Влияние избыточного содержания меди в среде на жизнеспособность и морфологию корней сои. *Физиология растений*. 2011; 58(5): 719–727. EDN OXCEEN
11. Sasaki C., Kato C., Matsuyama N., Annaka T., Sasaki K. Influence of Copper and Cadmium Soil Pollution in Soybeans: Uptake, Growth, and Yield Pollution. *International Journal of Environmental and Rural Development*. 2025; 16(1): 36–41. https://doi.org/10.32115/ijerd.16.1_36
12. Грошева О.А. Разработка научных основ устойчивого степного земледелия в работах отечественных и зарубежных исследователей. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2021; (12): 56–59. <https://doi.org/10.17513/mjpf.13330>
13. Дридигер В.К., Джандаров А.Н. Агрофизические свойства почвы и урожайность гороха в зависимости от технологии возделывания в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; (6): 76–80. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-76-80>
14. Dang Y.P., Page K.L., Dalal R.C., Menzies N.W. No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: An Overview. Dang Y., Dalal R., Menzies N. (eds.). No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: Challenges and Opportunities. Cham: Springer. 2020; 3–20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46409-7_1
15. Francaviglia R., Di Bene C., Farina R., Salvati L. Soil organic carbon sequestration and tillage systems in the Mediterranean Basin: a data mining approach. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2017; 107(1): 125–137. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9820-z>
16. Тойгильдин А.Л., Тойгильдина И.А., Чекалин А.М., Аюпов Д.Э., Кузин А.С. Приемы повышения продуктивности звеньев севооборотов в технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. *Агробиотехнологии и цифровое земледелие*. 2025; 4(3): 40–46. EDN IOAKIV
17. Черкасов Е.А., Куликова А.Х., Саматов Б.К. Динамика содержания микроэлементов в почвах Ульяновской области по результатам локального мониторинга. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013; (4): 31–35. EDN RTUMRT
18. Куликова А.Х., Черкасов Е.А. Микроэлементы в почвах Ульяновской области и эффективность микроэлементсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014; (4): 19–25. EDN THQFCZ
19. Mackie K.A., Schmidt H.P., Müller T., Kandeler E. Cover crops influence soil microorganisms and phytoextraction of copper from a moderately contaminated vineyard. *Science of The Total Environment*. 2014; 500–501: 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.091>
20. Zhang J.-y., Wang J.-g., Xu Y.-l., Li H.-g. Effect of nitrogen on the species and contents of organic acids in root exudates of different soybean cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 2007; 13(3): 398–403. <https://doi.org/10.11674/zwjy.2007.0308>
21. Мухаметвалеев Л.Р., Тойгильдин А.Л., Тойгильдина И.А. Водопотребление и урожайность сои в технологии прямого посева в условиях лесостепи Среднего Поволжья. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025; (1): 27–34. EDN IDWMCE
4. Rotundo J.L. *et al.* European soybean to benefit people and the environment. *Scientific Reports*. 2024; 14: 7612. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57522-z>
5. Panfilov A.A., Mal'tsev E.A., Lisichkin N.S., Mozgova E.K., Sorokina M.V. Soybean production in the Russian Federation. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*. 2024; (5): 32–37 (in Russian). EDN ZCACRPW
6. Chandra Sheker B., Radder B.M., Didal V.K., Amruth B., Kiran A. Micronutrient (Cu, Zn, Fe and Mn) Uptake in Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] Growing Soils of Dharwad Taluk (Karnataka). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017; 6(7): 397–403. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.047>
7. Voronkova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A., Tukmacheva E.V. Molybdenum and Copper in the Soybean Fertilizer System. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024; 16(5): 221–242 (in Russian). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-5-982>
8. Kumar V. *et al.* Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. *Chemosphere*. 2021; 262: 127810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>
9. Akhtar M.T., Lu Z., Ren S.-x., Zou H.-l., Noor I., Jin B. Copper homeostasis: Crosstalk with plant secondary metabolism and stress responses. *Plant Science*. 2026; 362: 112795. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112795>
10. Kulikova A.L., Kuznetsova N.A., Kholodova V.P. Effect of copper excess in environment on soybean root viability and morphology. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2011; 58(5): 836–843. <https://doi.org/10.1134/S102144371105013X>
11. Sasaki C., Kato C., Matsuyama N., Annaka T., Sasaki K. Influence of Copper and Cadmium Soil Pollution in Soybeans: Uptake, Growth, and Yield Pollution. *International Journal of Environmental and Rural Development*. 2025; 16(1): 36–41. https://doi.org/10.32115/ijerd.16.1_36
12. Grosheva O.A. Development of the scientific basis of sustainable steppe land use in the works of domestic and foreign researchers. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2021; (12): 56–59 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/mjpf.13330>
13. Dridiger V.K., Dzhandarov A.N. Agrophysical properties of the soil and the yield of peas depending on the cultivation technology in the zone of unstable moisture Stavropol Territory. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; (6): 76–80 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-76-80>
14. Dang Y.P., Page K.L., Dalal R.C., Menzies N.W. No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: An Overview. Dang Y., Dalal R., Menzies N. (eds.). No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: Challenges and Opportunities. Cham: Springer. 2020; 3–20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46409-7_1
15. Francaviglia R., Di Bene C., Farina R., Salvati L. Soil organic carbon sequestration and tillage systems in the Mediterranean Basin: a data mining approach. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2017; 107(1): 125–137. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9820-z>
16. Toygildin A.L., Toygildina I.A., Chekalin A.M., Ayupov D.E., Kuzin A.S. Methods for increasing the productivity of direct-seeding crop rotation units in the forest-steppe zone of Middle Volga region. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4(3): 40–46 (in Russian). EDN IOAKIV
17. Cherkasov E.A., Kulikova A.Kh., Samatov B.K. Dynamics of the content of microelements in soils of Ulyanovsk region according to the results of local monitoring. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2013; (4): 31–35 (in Russian). EDN RTUMRT
18. Kulikova A.Kh., Cherkasov E.A. Microelements in soils of Ulyanovsk region and efficiency of microelement-containing fertilizers in cultivation of winter wheat. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2014; 4(28): 19–25 (in Russian). EDN THQFCZ
19. Mackie K.A., Schmidt H.P., Müller T., Kandeler E. Cover crops influence soil microorganisms and phytoextraction of copper from a moderately contaminated vineyard. *Science of The Total Environment*. 2014; 500–501: 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.091>
20. Zhang J.-y., Wang J.-g., Xu Y.-l., Li H.-g. Effect of nitrogen on the species and contents of organic acids in root exudates of different soybean cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 2007; 13(3): 398–403. <https://doi.org/10.11674/zwjy.2007.0308>
21. Mukhametvaliev L.R., Toygildin A.L., Toygildina I.A. Water consumption and soybean yield in direct seeding technology in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2025; (1): 27–34 (in Russian). EDN IDWMCE

ОБ АВТОРАХ

Родион Владимирович Окунев¹

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
tutinkaz@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6927-6983>

Светлана Викторовна Белякова¹

ведущий инженер

Svetlana.Belyakova@kpfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6407-2239>

Линар Ринатович Мухаметвалеев²

аспирант

mukhametvaleev@list.ru

Полина Александровна Курынцева¹

кандидат биологических наук, доцент

polinazwerewa@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9274-7077>

Александр Леонидович Тойгильдин²

доктор сельскохозяйственных наук; профессор

atoigildin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7713-5283>

Светлана Юрьевна Селивановская¹

доктор биологических наук, директор

Svetlana.Selivanovskaya@kpfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6379-7166>

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, Казань, 420008, Россия

²Ульяновский государственный аграрный университет

им. П. А. Столыпина,

б-р Новый Венец, зд. 1, Ульяновск, 432000, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Rodion Vladimirovich Okunev¹

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

tutinkaz@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6927-6983>

Svetlana Viktorovna Belyakova¹

Leading Engineer

Svetlana.Belyakova@kpfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6407-2239>

Linar Rinatovich Mukhametvaleev²

Postgraduate Student

mukhametvaleev@list.ru

Polina Aleksandrovna Kuryntseva¹

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

polinazwerewa@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9274-7077>

Aleksandr Leonidovich Toigildin²

Doctor of Agricultural Sciences; Professor

atoigildin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7713-5283>

Svetlana Yurevna Selivanovskaya¹

Doctor of Biological Sciences, Director

Svetlana.Selivanovskaya@kpfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6379-7166>

¹Kazan (Volga Region) Federal University, 18 Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

²Ulyanovsk State Agrarian University named

after P. A. Stolypin,

1 Novy Venets Boulevard, Ulyanovsk, 432000, Russia

А.М. Шпанев ✉

В.В. Смур

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

✉ ashpanev@mail.ru

Поступила в редакцию: 26.03.2026

Одобрена после рецензирования: 11.09.2026

Принята к публикации: 25.09.2026

© Шпанев А.М., Смур В.В.

Эффективность гербицидной обработки посевов яровой тритикале в Ленинградской области

РЕЗЮМЕ

Высокая потребность в проведении гербицидной обработки на посевах яровой тритикале в Ленинградской области и ограниченный ассортимент гербицидов делает актуальными исследования по поиску эффективных препаратов для применения на этой культуре. По результатам исследований, проведенных на полях Меньковского филиала Агрофизического НИИ в период 2021–2024 гг., было определено, что применение гербицида Балерина Супер, СЭ в норме 0,3 л/га в фазу кущения яровой тритикале являлось эффективным мероприятием как в отношении снижения численности сорных растений, так и их фитомассы. Снижение густоты произрастания и фитомассы многолетних двудольных видов варьировало по годам от 52,7 до 80,9% и 82,7–97,3%, малолетних двудольных видов — в пределах 64,7–82,4% и 68,4–94,0%. По результатам исследований выделилась группа чувствительных к данному гербициду видов сорных растений, к числу которых можно отнести пастушью сумку обыкновенную, редьку дику, марь белую, а к устойчивым — фиалку полевую. Влияние возрастающих доз азотного удобрения не приводило к закономерным изменениям в эффективности гербицидной обработки. Величина сохраненного урожая от проведения гербицидной обработки варьировала в пределах 7,0–20,5% и только в один из годов на фоне изреженного шведской овсяной мухой посева составила 71%. Хозяйственный эффект от применения гербицида достигался главным образом за счет повышенной густоты продуктивного стеблестоя (на 2,2–59,6%), в меньшей — массы зерна, сформированной колосом (на 1,7–8,5%).

Ключевые слова: зерновые культуры, сорные растения, гербицид, азотное удобрение, биологическая эффективность, хозяйственная эффективность

Для цитирования: Шпанев А.М., Смур В.В. Эффективность гербицидной обработки посевов яровой тритикале в Ленинградской области. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 84–89.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-84-89>

Alexander M. Shpanev ✉

Vasily V. Smuk

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

✉ ashpanev@mail.ru

Received by the editorial office: 26.03.2026

Accepted in revised: 11.09.2026

Accepted for publication: 25.09.2026

© Shpanev A.M., Smuk V.V.

Effectiveness of herbicidal treatment of spring triticale crops in the Leningrad region

ABSTRACT

The high need for herbicidal treatment on spring triticale crops in the Leningrad region and the limited range of herbicides make research relevant to find effective drugs for use in this crop. According to the results of studies conducted in the fields of the Menkovsky branch of the Agrophysical Research Institute in the period 2021–2024, it was determined that the use of the herbicide Ballerina Super, SE at a rate of 0.3 l/ha during the tillering phase of spring triticale was an effective measure both in reducing the number of weeds and their phytomass. The decrease in the growth density and phytomass of perennial dicotyledonous species ranged from 52.7 to 80.9% and 82.7–97.3% over the years, and in juvenile dicotyledonous species — from 64.7 to 82.4% and 68.4 to 94.0%. According to the research results, a group of weed species sensitive to this herbicide has been identified, which include common shepherd's purse, wild radish, white marsh, and field violet. The effect of increasing doses of nitrogen fertilizer did not lead to regular changes in the effectiveness of herbicide treatment. The value of the preserved crop from herbicidal treatment varied from 7.0–20.5% and only in one of the years, against the background of a thinned Swedish oatmeal, it amounted to 71%. The economic effect of the herbicide application was achieved mainly due to the increased density of the productive stem (by 2.2–59.6%), to a lesser extent — the mass of grain formed by the ear (by 1.7–8.5%).

Key words: cereals, weeds, herbicide, nitrogen fertilizer, biological efficiency, economic efficiency

For citation: Shpanev A.M., Smuk V.V. Effectiveness of herbicidal treatment of spring triticale crops in the Leningrad region. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 84–89 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-84-89>

Введение/Introduction

Тритикале принято считать ценной кормовой культурой, с расширением посевных площадей которой напрямую связывают повышение адаптивного потенциала растениеводства в Нечерноземье и снижения пестицидной нагрузки в зерновом клине [1]. По данным Росстата, посевные площади тритикале в Северо-Западном регионе не превышают 10 тыс. га, что составляет около 5% от зерновых и зернобобовых культур вместе взятых. Меньше возделывается только озимая рожь¹. Если сравнивать озимую и яровую формы тритикале, то последняя из них встречается на полях значительно реже и, как следствие, фитосанитарные аспекты ее возделывания изучены слабее.

Общей особенностью фитосанитарного состояния агроценозов зерновых культур в Северо-Западном регионе и Ленинградской области Российской Федерации, в частности, является главенствующее значение сорных растений, которые в условиях достаточного увлажнения формируют большую вегетативную массу и семенную продуктивность, благодаря чему сохраняется высокий потенциал засоренности в пахотном горизонте дерново-подзолистых почв. По имеющимся в литературе данным, потери урожая ярового ячменя от сорной растительности в зависимости от состояния посева, типа засоренности, уровня минерального или азотного питания варьируют в пределах 6–18%, овса — 1,5–19,8% [2, 3]. В условиях преимущественно средней и сильной засоренности посевов проведение гербицидной обработки на зерновых культурах оказывается востребованным мероприятием в абсолютном большинстве случаев [4–6].

Яровая тритикале, в отличие от других зерновых культур, вследствие слабой кустистости, не обладает высокой конкурентоспособностью по отношению к сорной растительности, что во многих случаях приводит к сильному зарастанию ее посевов [7–10].

В Нечерноземной зоне в посевах яровой тритикале наибольшее распространение имеют малолетние виды: марь белая, пастушья сумка обыкновенная, ярутка полевая, пикульники, овсюг обыкновенный и щирица запрокинутая, а из многолетних — пырей ползучий, осот полевой, бодяк полевой и вьюнок полевой [11]. Высокая засоренность посевов является одной из основных причин, не позволяющих в полной мере реализовать потенциал продуктивности яровой тритикале, и в других регионах, где возделывается эта культура [12, 13]. В связи с этим, оценка эффективности гербицидов в посевах яровой тритикале и других зерновых культур представляется важной задачей, что подтверждается соответствующими публикациями [14–16]. Для Северо-Западного

региона, где вредоносность сорных растений традиционно высока, развитие данного направления исследований особо значимо.

Цель исследований заключалась в оценке биологической и хозяйственной эффективности гербицидной обработки в посевах яровой тритикале на территории Ленинградской области.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводились в период 2021–2024 гг. на посевах яровой тритикале сорта Ровня Менковского филиала Агрофизического НИИ, расположенного в Гатчинском районе Ленинградской области. Почва дерново-подзолистая супесчаная, мощность пахотного слоя 23 см, pH_{KCl} — 4,6, содержание гумуса (по Тюрину) — 1,9%, содержание органического вещества — 3,41%, подвижных соединений фосфора и калия — 257 и 92 мг/кг соответственно.

Оценка эффективности гербицидной обработки новым на момент закладки опыта препаратом Балерина Супер, СЭ (АО Фирма «Август») проводилась в двухфакторном опыте в соответствии с методическими указаниями по регистрационным испытаниям гербицидов².

Препарат Балерина Супер, СЭ (410 г/л 2,4-Д 2-этилгексилэтер + 15 г/л флорасулам) предназначен для уничтожения однолетних двудольных, в том числе устойчивых к 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота) и МЦПА (2-метил-4-хлорфеноксиуксусная кислота), и некоторых многолетних корнеотпрысковых сорняков. Обработка осуществлялась ранцевым опрыскивателем «Solo 473P» («Solo», Германия) в фазу кушения культуры. Норма расхода препарата — 0,3 л/га, рабочей жидкости — 300 л/га.

Наличие первого фактора в опыте подразумевает изучение эффективности гербицидной обработки на фоне возрастающих доз азотных удобрений (0, 30, 60, 90, 120, 150 кг д.в./га), вносимых в виде аммиачной селитры вручную перед посевом. Размер делянки составлял 25 м² (5 × 5 м), общее количество — 12. Половина из них обрабатывалась гербицидом, другая — служила в качестве контроля. Потребности в проведении фоновых обработок фунгицидами и инсектицидами в период вегетации яровой тритикале не было. Предшественником яровой тритикале в опыте являлся яровой рапс. Сроки сева приходились на первую (2023 г.), вторую (2022 г.) и третью (2021 и 2024 гг.) декады мая.

Учеты сорных растений проводились на постоянных площадках 0,1 м², устанавливаемых в фазу всходов яровой тритикале в количестве 6 штук на каждой делянке. Общее количество учетных площадок составило 72, из которых 36 были обработаны гербицидом и 36 служили контролем. Перед

¹ Посевные площади Российской Федерации в 2025 году. М., 2025. 29 с.

² Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве. СПб., 2013. 280 с.

обработкой гербицидом определялась численность сорных растений для каждого вида в отдельности и общее проективное покрытие, перед уборкой урожая — численность и сырая фитомасса. Видовые названия сорных растений указывались согласно справочной литературе^{3,4}.

Биологическая эффективность гербицидной обработки рассчитывалась по формуле Хендерсона-Тилтона⁵, учитывающей начальный уровень засоренности постоянных площадок. Для оценки хозяйственной эффективности обработки осуществлялся учет урожайности яровой тритикале с каждой постоянной площадки в отдельности. Структурный анализ урожая и обмолот проводились в лабораторных условиях. Масса зерна с колоса определялась путем деления общей массы зерна с постоянной площадки, предварительно взвешенной на лабораторных весах ВК-600 (Масса-К, Россия, СИ поверены), на густоту продуктивного стеблестоя.

Статистическая обработка данных состояла из дисперсионного анализа, проводимого в программе Statistica 6 (StatSoft Inc., США), по результатам которого на основании р-критерия определялась достоверность различий между вариантами опыта. Средние значения в таблицах сопровождались стандартной ошибкой.

Материал и методы исследования / Material and methods

Сорная растительность в посевах яровой тритикале, где осуществлялась закладка опытов по оценке эффективности гербицидной обработки препаратом Балерина Супер, СЭ, была представлена 26–30 видами в разные годы. При этом на единице площади в фазу кущения яровой тритикале одновременно произрастали 9–13 видов/м², численность которых составляла 716–744 экз./м², а проективное покрытие — 14,5–24,1%. В такой ситуации, характерной для трех годов из четырех, имела потребность в проведении гербицидной обработки. Только в 2023 г. засоренность была слабой, на что указывают соответствующие показатели видового обилия сорных растений (5 видов/м²), густоты (139 экз./м²) и проективного покрытия (5,3%).

Из группы малолетних двудольных видов, на долю которых приходилось 92,6–98,6% в общей засоренности и только в 2023 г. — 74,8%, массовыми видами являлись фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.), торица полевая (*Spergula arvensis* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), редька дикая (*Raphanus raphanistrum* L.). Относительное обилие этих видов сорных растений по усредненным данным 2021–2024 гг. составляло 23,8, 19,0, 15,6 и 11,3%. Широкое распространение также имели пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), горошек

волосистый (*Vicia hirsuta* (L.) S. F. Gray.), ромашка непахучая (*Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Lainz), гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Loeve), пикульники (*Galeopsis* spp.), незабудка полевая (*Myosotis arvensis* (L.) Hill.), среднелетняя численность которых составляла 30, 22, 19, 17, 16, 11 экз./м². Среди многолетних преобладали мята полевая (*Mentha arvensis* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), осот полевой (*Sonchus arvensis* L.) и пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), которых насчитывалось 12, 11, 6 и 4 экз./м² соответственно.

Применение гербицида Балерина Супер, СЭ в фазу кущения яровой тритикале являлось эффективным мероприятием как по факту снижения численности сорных растений, так и их фитомассы. Показатели биологической эффективности варьировали по годам от 52,7 до 80,9% и 82,7–97,3% в отношении снижения густоты произрастания и фитомассы многолетних двудольных видов. Эффективность данного гербицида против малолетних двудольных видов оказалась несколько ниже в 2021 и 2024 гг. (табл. 1). В 2021 г. ситуация усугублялась недостаточно высокой эффективностью гербицидной обработки в отношении снижения надземной массы малолетников (68,4%). Отличительной особенностью 2022 г. являлась недостаточно высокая эффективность гербицида Балерина Супер, СЭ против видов сорных растений с многолетним циклом развития, численность которых снижалась на 52,7%. Детальное изучение ситуации показало, что полынь обыкновенная не погибала от действия гербицида, и к уборке урожая густота растений увеличивалась в 3 раза, по сравнению с фазой кущения, как на варианте без обработки, так и с обработкой данным препаратом. При этом угнетение развития растений полыни наблюдалось, оно составило 58,8% снижения вегетативной массы. Следует отметить, что в другие годы полынь обыкновенная в посевах яровой тритикале, а, следовательно, и опытных делянках не встречалась. Усредненное за годы исследований значение погибших от действия гербицида сорных растений соответствовало 72,1%, снижение надземной массы уцелевших из них — 85,5%.

По результатам исследований выделилась группа восприимчивых к данному гербициду видов сорных растений, к числу которых можно отнести пастушью сумку обыкновенную, редьку дику, марь белую, а к устойчивым — фиалку полевую (табл. 2). Если не брать в расчет 2021 г., когда на контроле наблюдалось такое же сильное снижение численности растений фиалки, как и на обрабатываемом варианте, уменьшение густоты произрастания данного вида колебалось в пределах 32,6–63,5%, фитомассы — 41,8–68,4%. Достаточно высокую эффективность гербицида Балерина Супер, СЭ можно отметить также в

³ Черепанов К.С. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб., 1995. 992 с.

⁴ Лунова Н.Н., Надточий И.Н. Названия основных видов сорных растений флоры России и стран СНГ. СПб., 2003. 20 с.

⁵ Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. СПб., 2020. 80 с.

Таблица 1. Биологическая эффективность обработки посева яровой тритикале гербицидом Балерина Супер, СЭ в Ленинградской области

Table 1. Biological efficiency of treatment of spring triticale crops with the herbicide Ballerina Super, SE in the Leningrad region

Год	Густота сорняков, шт./м ²				Снижение густоты, % к контролю	Масса сорняков при уборке урожая, г/м ²		Снижение массы, % к контролю
	перед обработкой		при уборке урожая			К	Г	
	К	Г	К	Г				
2021	44 ± 9 ^a	65 ± 6 ^a	50 ± 10 ^a	15 ± 3 ^б	79,7	41,7 ± 8,4 ^a	7,2 ± 2,6 ^б	82,7
	694 ± 16 ^a	685 ± 32 ^a	284 ± 14 ^a	94 ± 6 ^б	66,5	151,4 ± 10,9 ^a	47,9 ± 4,5 ^б	68,4
2022	58 ± 14 ^a	14 ± 4 ^б	105 ± 24 ^a	12 ± 3 ^б	52,7	82,4 ± 19,3 ^a	6,9 ± 2,4 ^б	91,6
	765 ± 32 ^a	619 ± 24 ^б	517 ± 34 ^a	81 ± 12 ^б	80,6	130,7 ± 9,0 ^a	7,9 ± 1,5 ^б	94,0
2023	9 ± 2 ^a	51 ± 12 ^б	12 ± 3 ^a	13 ± 4 ^a	80,9	30,3 ± 9,9 ^a	3,0 ± 1,1 ^б	90,1
	110 ± 9 ^a	99 ± 9 ^a	101 ± 11 ^a	16 ± 3 ^б	82,4	35,1 ± 6,4 ^a	3,6 ± 1,1 ^б	89,7
2024	12 ± 2 ^a	7 ± 2 ^a	25 ± 5 ^a	4 ± 1 ^б	72,6	41,1 ± 20,2 ^a	1,1 ± 0,6 ^б	97,3
	758 ± 39 ^a	654 ± 39 ^a	526 ± 38 ^a	160 ± 15 ^б	64,7	224,6 ± 21,7 ^a	19,3 ± 2,2 ^б	91,4
Среднее	31 ± 4 ^a	34 ± 4 ^a	48 ± 7 ^a	11 ± 2 ^б	79,1	48,9 ± 7,8 ^a	4,6 ± 1,0 ^б	90,6
	582 ± 26 ^a	514 ± 24 ^a	357 ± 20 ^a	88 ± 7 ^б	72,1	135,4 ± 8,7 ^a	19,7 ± 2,0 ^б	85,5

Примечание: К — контроль, Г — гербицид, числитель — многолетние двудольные сорные растения, знаменатель — малолетние двудольные сорные растения; различия между вариантами, обозначенные одинаковыми буквами по горизонтали, несущественны по р-критерию ($p \geq 0,05$)

отношении такого вредоносного вида, как ромашка непахучая. Различия по эффективности обработки в отдельные годы проведения опыта не позволили однозначно отнести многие виды сорных растений к определенной группе устойчивости к изучаемому гербициду. Так, у торицы полевой недостаточно высокая эффективность гербицидной обработки просматривалась в 2022 г., гречишки выюнковой — 2023 г., пикульников — 2024 г.

Влияние возрастающих доз азотного удобрения, известное из соответствующих публикаций в литературе [17–20], в данном случае не приводило к закономерным изменениям в эффективности гербицидной обработки (табл. 3). Снижение густоты сорных растений варьировало от 63,8 до 75,6%, вегетативной массы — от 63,3 до 87,0%. Наименьшие фактические значения засоренности опытных делянок в конце вегетации яровой тритикале приходились на варианты высокой удобренности, соответствующие дозировкам N_{120} и N_{150} , и применения гербицида (68–70 экз./м²). Прежде всего, это было связано с более низкой начальной засоренностью этих делянок.

Величина сохраненного урожая яровой тритикале от проведения гербицидной обработки в период 2021–2023 гг. находилась на уровне 8,2–43,5 г/м² (7,0–20,5%), а в 2024 г. на фоне изреженного

Таблица 2. Биологическая эффективность обработки посева яровой тритикале гербицидом Балерина Супер, СЭ в отношении отдельных видов сорных растений

Table 2. The biological effectiveness of the treatment of spring triticale crops with the herbicide Ballerina Super, SE in relation to certain types of weeds

Вид	Снижение густоты (числитель) и фитомассы (знаменатель), %				
	2021	2022	2023	2024	Среднее
Фиалка полевая	100	53,8	63,5	32,6	50,4
	100	68,4	41,8	45,7	54,8
Торица полевая	99,0	60,5	91,0	74,4	78,3
	99,2	55,2	92,1	95,9	95,2
Марь белая	94,3	100	98,5	100	75,4
	38,3	100	99,9	100	66,0
Редька дикая	87,0	100	100	100	99,2
	54,5	100	100	100	99,3
Пастушья сумка	100	100	100	100	100
	100	100	100	100	100
Горошки	46,7	86,1	13,9	47,4	66,7
	69,5	98,5	75,4	91,9	95,2
Гречишка выюнковая	100	95,1	33,3	66,7	91,8
	100	99,2	78,2	93,8	98,5
Ромашка непахучая	98,5	100	75,0	79,6	97,2
	99,9	100	99,9	99,9	99,9
Пикульники	100	59,5	100	17,9	61,0
	100	92,3	100	88,4	90,7

Таблица 3. Биологическая эффективность гербицидной обработки на разных уровнях азотного питания яровой тритикале (среднее за 2021–2024 гг.)

Table 3. Biological efficiency of herbicide treatment at different levels of nitrogen nutrition of spring triticale (average for 2021–2024)

Доза азота	Густота сорняков, шт./м²				Снижение густоты, % к контролю	Масса сорняков при уборке урожая, г/м²		Снижение массы, % к контролю
	перед обработкой		при уборке урожая			К	Г	
	К	Г	К	Г				
N ₀	603 ± 63	496 ± 55	517 ± 55	141 ± 21	66,8 ^a	165,8 ± 30,3	21,5 ± 3,2	87,0 ^a
N ₃₀	768 ± 79	658 ± 62	629 ± 55	138 ± 20	74,4 ^a	216,1 ± 24,1	33,3 ± 6,9	84,6 ^a
N ₆₀	638 ± 66	638 ± 67	437 ± 49	158 ± 31	63,8 ^a	239,6 ± 38,2	88,0 ± 32,7	63,3 ^a
N ₉₀	633 ± 69	632 ± 65	375 ± 35	125 ± 20	66,6 ^a	199,1 ± 22,8	51,5 ± 16,5	74,1 ^a
N ₁₂₀	521 ± 54	477 ± 52	313 ± 35	70 ± 11	75,6 ^a	182,2 ± 20,8	30,1 ± 6,9	83,5 ^a
N ₁₅₀	530 ± 58	428 ± 41	283 ± 33	68 ± 9	70,2 ^a	171,1 ± 25,4	28,6 ± 6,9	83,3 ^a

Примечание: К — контроль, Г — гербицид; различия между вариантами, обозначенные одинаковыми буквами по вертикали, несут существенны по р-критерию ($p \geq 0,05$)

Таблица 4. Влияние обработки посевов гербицидом Балерина Супер, СЭ на урожайность и основные элементы структуры урожая яровой тритикале в Ленинградской области
Table 4. The effect of treatment of crops with the herbicide Ballerina Super, SE on yield and the main elements of the structure of the harvest of spring triticale in the Leningrad region

Год	Урожайность, г/м ²			% к контролю	Густота продуктивных стеблей, шт./м ²			% к контролю	Масса зерна с колоса, г			% к контролю
	К	Г	НСР ₀₅		К	Г	НСР ₀₅		К	Г	НСР ₀₅	
2021	116,4 ± 6,2 ^a	124,6 ± 8,4 ^a	25,1	107,0	325 ± 16 ^a	332 ± 9 ^a	31	102,2	0,35 ± 0,01 ^a	0,37 ± 0,02 ^a	0,06	105,7
2022	332,0 ± 16,3 ^a	378,3 ± 14,3 ^b	28,8	113,9	576 ± 18 ^a	672 ± 22 ^b	37	116,7	0,58 ± 0,02 ^a	0,59 ± 0,03 ^a	0,04	101,7
2023	211,7 ± 7,0 ^a	255,2 ± 14,7 ^b	22,2	120,5	417 ± 13 ^a	463 ± 17 ^b	40	111,0	0,47 ± 0,02 ^a	0,51 ± 0,03 ^a	0,05	108,5
2024	147,7 ± 11,0 ^a	252,6 ± 18,9 ^b	30,5	171,0	171 ± 10 ^a	273 ± 13 ^b	35	159,6	0,87 ± 0,04 ^a	0,91 ± 0,04 ^a	0,07	104,6
2021–2024	202,0 ± 9,3 ^a	252,7 ± 10,4 ^b	18,9	125,1	372 ± 12 ^a	435 ± 17 ^b	29	116,9	0,57 ± 0,02 ^a	0,60 ± 0,02 ^a	0,05	105,3

Примечание: К — контроль, Г — гербицид; различия между вариантами, обозначенные одинаковыми буквами по горизонтали, несущественны по р-критерию ($p \geq 0,05$)

посева из-за сильных повреждений шведской овсяной мухой составила 104,9 г/м² (71%). Таким образом, в 2021 г. была зафиксирована не только самая низкая биологическая эффективность применяемого гербицида Балерина Супер, СЭ, но, как следствие этого, и хозяйственная эффективность (табл. 4). В этот же год была получена наименьшая урожайность культуры (124,6 г/м²), тогда как наибольшая — в 2022 г. (378,3 г/м²). Усредненная за годы исследований урожайность яровой тритикале составляла 202,0 г/м² — на контрольном варианте и 252,7 г/м² — на варианте с гербицидной обработкой.

Густота продуктивного стеблестоя сильно реагировала на обработку гербицидом, увеличиваясь в отдельные годы на 7–102 шт./м² (2,2–59,6%), тогда как продуктивность растений яровой тритикале повышалась только на 0,01–0,04 г/колос (1,7–8,5%). Статистически значимые изменения густоты продуктивных стеблей культуры под влиянием гербицида отмечались в 2022, 2023 и

2024 гг. Достоверные отличия по массе зерна с колоса между делянками, обработанными и необработанными гербицидом, отсутствовали на протяжении всего периода исследований.

Выводы/Conclusion

Обработка гербицидом Балерина Супер, СЭ, проводимая в фазу кущения яровой тритикале, оказалась эффективной в защите от малолетних и многолетних двудольных видов сорных растений на протяжении всего периода исследований. Повышенную чувствительность к действию данного гербицида проявили такие широко распространенные в посевах яровой тритикале виды, как пастушья сумка обыкновенная, редька дикая и марь белая. Устойчивым видом оказалась только фиалка полевая. Величина сохраненного урожая от проведения гербицидной обработки варьировала в пределах 7,0–20,5% и только в один из годов на фоне изреженного шведской овсяной мухой посева составила 71%.

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 Министерства науки и высшего образования РФ (№ Государственного задания FGEU-2022-0008 и FGEU-2025-0012)

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Assignment No. FGEU-2022-0008 and FGEU-2025-0012)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Батяхина Н.А. Комплексный подход к применению пестицидов в агроценозе тритикале. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2021; (2): 10–14. <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-35-2-10-14>
- Шпанев А.М. Влияние доз азотного удобрения на эффективность гербицидной обработки в посевах зерновых культур на северо-западе РФ. *Агрохимия*. 2021; (10): 74–80. <https://doi.org/10.31857/S0002188121100136>
- Шпанев А.М. Вредность сорных растений в агроценозе овса с подсевом многолетних трав на Северо-Западе РФ. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024; (3): 16–20. <https://doi.org/10.31857/S2500208224030031>
- Лунева Н.Н. Выделение уровней фитосанитарного районирования территории в отношении сорных растений на примере Ленинградской области. *Вестник защиты растений*. 2020; (2): 119–133. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-13406>
- Мысник Е.Н. Ретроспективный анализ засоренности посевов ячменя на территории Ленинградской области. *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2020; (1): 52–62. EDN ILQHFQ
- Чернуха В.Г., Маханькова Т.А. Эффективность гербицида Аминка трио, СЭ в посевах пшеницы яровой. *Защита и карантин растений*. 2024; (3): 11–14. EDN VPOVVP
- Скатова С.Е., Тысленко А.М. Яровое тритикале: возделывание в Нечерноземной зоне России. Владимир: *Владимирский НИИСХ*. 2011; 16. EDN TKXYRV
- Reiss A., Fomsgaard I.S., Mathiassen S.K., Randhawa H.S., Kudsk P. Weed suppression by Canadian spring cereals: relative contribution of competition for resources and allelopathy. *Chemoecology*. 2018; 28(6): 183–187. <https://doi.org/10.1007/s00049-018-0267-3>

REFERENCES

- Batyakhina N.A. Integrated approach to the use of pesticides in the triticale agroecosystem. *Agriarian journal of Upper Volga region*. 2021; (2): 10–14 (in Russian). <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-35-2-10-14>
- Shpanev A.M. Effect of nitrogen fertilizer doses on the effectiveness of herbicidal treatment in grain crops in the North-West of the Russian Federation. *Agricultural Chemistry*. 2021; (10): 74–80 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121100136>
- Shpanev A.M. The harmfulness of weeds in oat agroecosystem with underseeding of perennial grasses in the North-West of the Russian Federation. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2024; (3): 16–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500208224030031>
- Luneva N. Allocation of levels of phytosanitary zoning of the territory concerning weeds using Leningrad region as an example. *Plant Protection News*. 2020; (2): 119–133 (in Russian). <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-13406>
- Mysnik E. The retrospective analysis of contamination of barley crops on the territory of Leningrad region. *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2020; (1): 52–62 (in Russian). EDN ILQHFQ
- Chernukha V.G., Makhan'kova T.A. Efficacy of the herbicide Aminka Trio, SE in spring wheat crops. *Plant protection and quarantine*. 2024; (3): 11–14 (in Russian). EDN VPOVVP
- Skatova S.Ye., Tyslenko A.M. Spring triticale: Cultivation in the Non-Chernozem Zone of Russia. Vladimir: *Vladimir Research Institute of Agriculture*. 2011; 16 (in Russian). EDN TKXYRV
- Reiss A., Fomsgaard I.S., Mathiassen S.K., Randhawa H.S., Kudsk P. Weed suppression by Canadian spring cereals: relative contribution of competition for resources and allelopathy. *Chemoecology*. 2018; 28(6): 183–187. <https://doi.org/10.1007/s00049-018-0267-3>

9. Klima K. *et al.* Long-Term Productive, Competitive, and Economic Aspects of Spring Cereal Mixtures in Integrated and Organic Crop Rotations. *Agriculture*. 2020; 10(6): 231. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060231>
10. Muratov A., Epifantsev V., Tikhonchuk P. Competitiveness of triticale among spring crops of the Amur region. *E3S Web of Conferences*. 2023; 371: 01082. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101082>
11. Окорков В.В. и др. Высокопродуктивные ресурсосберегающие технологии возделывания яровой тритикале на почвах Верхневолжья. Суздаль: *Владимирский НИИСХ*. 2015; 71. ISBN 978-5-9907203-7-4 EDN VLFVBZV
12. Куконкова А.А., Терехов М.Б. Влияние норм посева и обработки гербицидами на урожайность и элементы ее структуры ярового тритикале. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013; (1): 19–23. EDN QAUUNP
13. Куркиев У.К., Гаджимагомедова М.Х. Степень засоренности сорными растениями посевов тритикале и пшеницы. *Проблемы развития АПК региона*. 2020; (2): 104–107. EDN GUVKUG
14. Голубев А.С. Сульфонилмочевинные гербициды на озимой пшенице в Северо-Западном регионе России. *Вестник защиты растений*. 2005; (2): 61–63. EDN YTBVLD
15. Патрикеев Е.С. Защита яровой тритикале от сорной растительности. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019; (6-2): 115–118. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11326>
16. Пушкарев В.Г. Урожайность озимой ржи в зависимости от применяемых гербицидов в условиях Псковской области. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2025; 17(1): 76–82. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.64.97.011>
17. Емельянов Ю.Я., Копылов А.Н., Кириллова Е.В. Эффективность гербицидов в сочетании с удобрениями на яровой пшенице. *Нивы Зауралья*. 2013; (6): 76–77. EDN SKYMRD
18. Гафуров Р.М., Митрофанов Э.Л., Коршунов А.П. Влияние гербицидов и удобрений на засоренность посевов, урожайность и качество зерна ячменя. *Агрохимический вестник*. 2020; (6): 79–81. EDN JDDTJX
19. Ледовский Е.Н., Доронин В.Г. Влияние азотных удобрений и их баковых смесей с гербицидами и фунгицидом на урожайность яровой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2021; (1): 82–86. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-82-86>
20. Стецов Г.Я., Пешков С.А., Садовников Г.Г. Эффективность комплексного применения удобрений и средств защиты растений при возделывании ярового рапса в условиях Алтайского края. *Вестник КрасГАУ*. 2023; (12): 128–135. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-128-135>

ОБ АВТОРАХ

Александр Михайлович Шпанев

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
ashpanev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>

Василий Васильевич Смур

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
vismuk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4763-9082>

Всероссийский научно-исследовательский институт
защиты растений,
шоссе Подбельского, 3, Пушкин, Санкт-Петербург,
196608, Россия

9. Klima K. *et al.* Long-Term Productive, Competitive, and Economic Aspects of Spring Cereal Mixtures in Integrated and Organic Crop Rotations. *Agriculture*. 2020; 10(6): 231. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060231>

10. Muratov A., Epifantsev V., Tikhonchuk P. Competitiveness of triticale among spring crops of the Amur region. *E3S Web of Conferences*. 2023; 371: 01082. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101082>

11. Okorkov V.V. *et al.* Highly productive resource-saving technologies for cultivating spring triticale on the soils of the Upper Volga region. Suzdal: *Vladimir Research Institute of Agriculture*. 2015; 71 (in Russian). ISBN 978-5-9907203-7-4 EDN VLFVBZV

12. Kukonkova A.A., Terekhov M.B. Influence of the norms of sowing and processing by herbicides in crop yields and the elements of its structure of spring triticale. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2013; (1): 19–23 (in Russian). EDN QAUUNP

13. Kurkiev U.K., Gadzhimagomedova M.Kh. Degree of weediness of triticale and wheat crops. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2020; (2): 104–107 (in Russian). EDN GUVKUG

14. Golubev A.S. Sulfonylurea herbicides on grain crops in Northwest region of Russian Federation. *Plant Protection News*. 2005; (2): 61–63 (in Russian). EDN YTBVLD

15. Patrikeev E.S. Protection of spring triticale from weeds. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019; (6-2): 115–118 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11326>

16. Pushkarev V.G. Yield of winter rye depending on the herbicides used in the Pskov region. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2025; 17(1): 76–82 (in Russian). <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.64.97.011>

17. Emel'yanov Yu.Ya., Kopylov A.N., Kirillova Ye.V. Efficiency of herbicides in combination with fertilizers on spring wheat. *Niva Zaural'ya*. 2013; (6): 76–77 (in Russian). EDN SKYMRD

18. Gafurov R.M., Mitrofanov E.L., Korshunov A.P. Influence of herbicides and fertilizers on yield and quality of barley grain. *Agrochemical Herald*. 2020; (6): 79–81 (in Russian). EDN JDDTJX

19. Ledovsky E.N., Doronin V.G. The effect of nitrogen fertilizers and their tank mixtures with herbicides and fungicides on spring wheat productivity. *Grain Economy of Russia*. 2021; (1): 82–86 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-82-86>

20. Stetsov G.Y., Peshkov S.A., Sadovnikov G.G. Efficiency of fertilizers and plants protection agrochemicals integrated application in culturing spring rape in the Altai Region conditions. *Bulletin of KSAU*. 2023; (12): 128–135 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-128-135>

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Mikhailovich Shpanev

Doctor of Science in Biology, Lead Researcher
ashpanev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>

Vasily Vasilyevich Smuk

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
vismuk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4763-9082>

All-Russian Institute of Plant Protection,
3, shosse Podbelsky, Puhkin, St. Petersburg, 196608, Russia

Н.А. Ковтунова¹ ✉Д.М. Марченко^{1,2}А.С. Иванисова¹О.А. Дубинина¹Н.С. Кравченко¹¹Аграрный научный центр
«Донской», Зерноград, Ростовская
обл., Россия²Донской государственный
технический университет, Ростов-на-
Дону, Россия

✉ n-beseda@mail.ru

Поступила в редакцию: 03.06.2026

Одобрена после рецензирования: 11.09.2026

Принята к публикации: 25.09.2026

© Ковтунова Н.А., Марченко Д.М.,
Иванисова А.С., Дубинина О.А.,
Кравченко Н.С.Natalia A. Kovtunova¹ ✉Dmitry M. Marchenko^{1,2}Anna I. Ivanisova¹Olga A. Dubinina¹Nina S. Kravchenko¹¹Agricultural Research Center
“Donskoy”, Zernograd, Rostov region,
Russia²Donskoy State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia

✉ n-beseda@mail.ru

Received by the editorial office: 03.06.2026

Accepted in revised: 11.09.2026

Accepted for publication: 25.09.2026

© Kovtunova N.A., Marchenko D.M.,
Ivanisova A.S., Dubinina O.A.,
Kravchenko N.S.

Изменчивость показателей качества сортов озимой твердой пшеницы

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Среди основных показателей, определяющих коммерческую ценность сортов твердой пшеницы, следует выделить содержание белка, клейковины и стекловидность зерна. Их изучение представляет большой интерес для отбора и разработки новых сортов с улучшенными питательными и технологическими характеристиками. Цель данной работы – оценить сорта озимой твердой пшеницы по показателям качества и определить изменчивость данных признаков в различных условиях возделывания. Исследования проводились в южной зоне Ростовской области в 2021–2025 гг. на 12 сортах селекции АНЦ «Донской».

Результаты. По содержанию белка максимальные значения отмечены у сортов Хризолит (14,80%), Амазонка (14,87%) и Диона (14,91%), по содержанию клейковины – Каротинка (28,1%), Диона (28,1%), Амазонка (28,2%), Агат Донской (28,2%), Кристелла (28,6%), стекловидности – Диона, Кристелла, Придонье, Каротинка, Графит и Амазонка (85–89%). Значения коэффициентов вариации (менее 10%) по содержанию протеина и клейковины указывают на их слабую изменчивость, стекловидность, наоборот, характеризуется значительным варьированием по годам ($C_v=19,9-25,6\%$). Дисперсионный анализ показал, что изменчивость данных признаков определяется, главным образом, фактором «год» – 62,30% (содержание белка), 50,04% (содержание клейковины), 91,39% (стекловидность). Коэффициенты линейной регрессии и варианты указывают на ценность сортов Придонье, Динас, Диона, Кристелла, Графит и Амазонка как высокопластичных и стабильных по показателям качества. Сорта Каротинка и Диона характеризуются сочетанием высокого содержания белка (14,50 и 14,91% соответственно), клейковины (28,1%), стекловидности (88 и 85%) и урожайности 8,89–8,92 т/га.

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, белок, клейковина, стекловидность, урожайность, изменчивость, дисперсионный анализ

Для цитирования: Ковтунова Н.А., Марченко Д.М., Иванисова А.С., Дубинина О.А., Кравченко Н.С. Изменчивость показателей качества сортов озимой твердой пшеницы. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 90–96.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-90-96>

Variability of quality indicators of winter durum wheat varieties

ABSTRACT

Relevance. Protein and gluten content, and grain hardness are among the key indicators which determine the commercial value of durum wheat varieties. The study of these parameters is of great interest for selection and development of new varieties with improved nutritional and technological characteristics. The purpose of the current work was to evaluate winter durum wheat varieties according to quality indicators and determine the variability of these traits under different cultivation conditions. The study was conducted in the southern part of the Rostov Region from 2021 to 2025 on 12 varieties developed by the ARC “Donskoy”.

Results. The highest values of protein percentage were recorded in the varieties Khryzolit (14.80%), Amazonka (14.87%) and Diona (14.91%); the highest values of gluten content were demonstrated by the varieties Karotinka (28.1%), Diona (28.1%), Amazonka (28.2%), Agat Donskoy (28.2%), Kristella (28.6%); highest values of hardness were identified in the varieties Diona, Kristella, Pridonie, Karotinka, Grafit and Amazonka (85–89%). The values of the coefficients of variation (less than 10%) in protein and gluten content have shown their weak variability, while hardness, on the contrary, is characterized by significant variability over the years ($C_v=19.9-25.6\%$). The analysis of variance has shown that the variability of these characteristics is determined mainly by the factor “year” with 62.30% (protein), 50.04% (gluten), 91.39% (hardness). Linear regression coefficients and variances have shown the value of the varieties Pridonie, Dinas, Diona, Kristella, Grafit, and Amazonka as highly flexible and stable varieties in their quality indicators. The varieties Karotinka and Diona are characterized by a combination of high values of protein (14.50% and 14.91%), gluten (28.1%), grain hardness (88% and 85%), and productivity (8.89–8.92 t/ha).

Key words: winter durum wheat, protein, gluten, hardness, productivity, variability, analysis of variance

For citation: Kovtunova N.A., Marchenko D.M., Ivanisova A.S., Dubinina O.A., Kravchenko N.S. Variability of quality indicators of winter durum wheat varieties. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 90–96 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-90-96>

Введение/Introduction

Твердая озимая пшеница — важная сельскохозяйственная культура, используемая для производства макаронных изделий, кускуса, булгура, а в некоторых регионах мира — для производства различных видов хлеба [1, 2]. Среди основных показателей, определяющих коммерческую ценность сортов твердой пшеницы, следует выделить содержание белка, клейковины и стекловидность зерна. Для разных потребителей эти показатели не равноценны. Так, крупяные предприятия заинтересованы в стекловидном зерне. Муку из стекловидного зерна предпочитают и производители макаронных изделий. Для хлебопекарной промышленности более важным показателем является содержание клейковины. А повышенное содержание белка необходимо во всех отраслях [3].

Концентрация белка является основным фактором, определяющим качество макаронных изделий. Согласно Регламента ЕС №2237/2003 от 23.12.2003 г.¹, именно процентное содержание белка в зерне твердой пшеницы вносит наибольший вклад в индекс качества (40%), за ним следует клейковина (30%) [4]. Считается, что хорошее качество макарон при варке связано с высоким содержанием белка и клейковины или со средним содержанием белка, но высоким содержанием клейковины. Содержание белка выше 13% желательнее для приготовления макаронных изделий хорошего качества, в результате чего повышается устойчивость к перевариванию. Включение этого требования при создании сортов стало важной задачей.

Стекловидность — это стекловидный и полупрозрачный вид зерен, обусловленный плотно упакованной структурой эндосперма без воздушных пространств в белковой матрице [5]. Твердая пшеница с высокой стекловидностью обычно дает высокий выход манной крупы с минимальным количеством крахмалистых частиц [6].

В исследованиях A.-N. Sieber и др. при изучении мягкой пшеницы выявлена сильная положительная корреляционная связь белка и стекловидности [5]. Стекловидность увеличивается при повышении белка до 9,5–12,5%, дальнейшей взаимосвязи не выявлено. По данным В.Х.Фу и др. в исследованиях с образцами твердой пшеницы при одинаковом количестве белка уровень стекловидности значительно варьировал [7]. Это говорит об отсутствии единого мнения о взаимосвязи данных показателей у твердой пшеницы.

Твердая пшеница обладает очень прочной клейковиной, что приводит к неэластичности теста и к связанным с этим проблемам при работе с ним, а также к уменьшению объема буханки из-за сниженной реакции печи [8]. Прочная клейковинная сетка, образующаяся во время приготовления

теста, имеет решающее значение для получения плотной и эластичной пасты. Эта прочная клейковинная структура помогает пасте сохранять форму и упругость, что делает ее идеальной основой для кулинарных блюд. Содержание белка оказывает гораздо большее влияние на твердость приготовленной пасты, чем прочность клейковины. Положительное влияние клейковины на твердость наблюдалось в переваренной пасте, приготовленной из образцов твердой пшеницы с содержанием белка (от 13 до 15%), обычно встречающимся в коммерческих образцах, но не в пасте с очень низким (11%) или высоким (17%) содержанием белка. Эти результаты помогут селекционерам твердой пшеницы сосредоточить свои усилия на улучшении качественных характеристик, которые оказывают наибольшее влияние на кулинарные свойства твердой пшеницы [9, 10].

Окружающая среда и методы обработки почвы оказывают значительное влияние на качественные характеристики, играющие ключевые роли в переработке и качестве конечного продукта [11]. Информация о влиянии внешних условий (содержания влаги, температуры) на качество и урожайность зерна имеет первостепенное значение в свете глобального потепления и последующих изменений климата [12, 13]. Твердая пшеница выращивается в условиях богарного земледелия, для которого характерны неравномерность и недостаточность распределения осадков, поэтому засуха является одной из наиболее распространенных проблем, с которыми сталкивается эта культура в ряде регионов. Таким образом, для селекционных программ важно знать, как засуха может ограничивать проявление потенциала урожайности и влиять на качественные характеристики зерна твердой озимой пшеницы. Одной из задач селекционера является разработка новых экологически пластичных сортов, способных эффективно использовать почву и климат в различных условиях.

Однако селекция любой культуры, в том числе пшеницы, направлена в основном на увеличение урожайности [14, 15]. Это, в свою очередь, привело к тому, что новые сорта значительно превосходят старые по урожайности, независимо от нормы азотного питания, старые характеризуются более высоким содержанием белка [16]. Тем не менее, имеются генотипы, не соответствующие данной тенденции, которые демонстрируют увеличение урожайности и содержания белка в зерне.

Оценка вышеуказанных показателей качества зерна представляет большой интерес для отбора и разработки новых сортов твердой пшеницы с улучшенными питательными и технологическими характеристиками. Цель данной работы — оценить сорта озимой твердой пшеницы по основным показателям качества (содержание белка,

¹ Commission Regulation (EC) No 2237/2003 of 23 December 2003 laying down detailed rules for the application of certain support schemes provided for in Title IV of Council Regulation (EC) No 1782/2003 establishing common rules for direct support schemes under the common agricultural policy and establishing certain support schemes for farmers. OJ L 339, 24.12.2003, pp. 52–69

клейковины, стекловидности) и определить изменчивость данных признаков в различные по влагообеспеченности годы.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследования проводились в южной зоне Ростовской области на базе ФГБНУ АНЦ «Донской» в 2021–2025 гг. Согласно результатам исследований, полученных ранее, почвенный состав опытного участка представлен обыкновенным карбонатным черноземом со следующими агрохимическими показателями в слое 0...30 см: содержание гумуса — 3,2 % (по Тюрину), среднее содержание P_2O_5 — 18,5...20,0 мг/кг и повышенное K_2O — 342...360 мг/кг почвы (по Мачигину) [17]. Объект исследований: коммерческие сорта селекции АНЦ «Донской», внесенные в Государственный реестр селекционных достижений: Амазонка, Агат Донской, Диона, Улада, Лакомка, Динас, Эллада, Хризолит, Придонье, Каротинка, Графит. Стандарт — сорт Кристелла, официально принятый за стандарт с 2018 года по Ростовской области.

Подготовку почвы, внесение удобрений и пестицидов проводили согласно зональным системам земледелия Ростовской области².

Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed S (Wintersteiger Holding AG, Австрия) рядовым способом с нормой высева 450 всхожих зерен на 1 м². Площадь делянок — 10 м², повторность — шестикратная, размещение систематическое. Уборку выполняли комбайнами Wintersteiger Classic (Wintersteiger Holding AG, Австрия).

Содержание белка у сортов озимой твердой пшеницы определяли согласно ГОСТ 10846-91³; количество клейковины — ГОСТ Р 54478-2011⁴, стекловидность — ГОСТ Р 70629-2023⁵.

Для характеристики влагообеспеченности территории выполняется расчет гидротермического коэффициента (ГТК) за тёплый период времени по формуле Г.Т. Селянинова⁶. Значения ГТК за период «апрель-июль» указывают на среднюю и недостаточную увлажненность в 2021, 2022, 2024 и 2025 гг. (0,69–1,23), а в 2023 г. — очень сильную засуху (0,28) (таблица 1).

Стандартизированный индекс осадков, рассчитанный на основе более 30-летних данных об осадках, составляет в апреле 43 мм; мае — 51 мм; июне — 71 мм, июле — 58 мм (по данным метеостанции «Зерноград»). Распределение осадков по месяцам было неравномерным, так в июне в 2021, 2022 и 2025 гг. осадков выпало больше нормы на 27–36 мм, а в июле в 2021 и 2025 гг. выпало

Таблица 1. Значения гидротермического коэффициента, 2021–2025 гг.

Table 1. Hydrothermal coefficient values, 2021–2025

Показатель	Норма	2021	2022	2023	2024	2025
апрель	1,29	3,09	1,69	2,55	0,26	1,03
май	1,00	1,16	0,68	0,23	0,45	0,99
июнь	1,12	1,61	0,14	0,60	0,18	1,69
июль	0,81	0,30	0,70	0,70	0,29	0,16
октябрь-июль	2,25	1,83	2,07	1,60	1,58	1,31
апрель-июль	1,02	1,23	0,69	0,86	0,28	0,89

только 14–25 мм, что ниже нормы на 23–34 мм, а в 2022 г. — 52 мм. В 2024 гг. в июне и в июле осадков выпало значительно ниже нормы — 13 и 25 мм. Температурный режим во все годы исследований в период созревания был выше нормы.

При выполнении исследований использовались следующие методы статистического анализа: сбор данных (наблюдение, группировка), корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализ. Для сравнения сортов по изучаемым признакам, выделения наиболее ценных из них и определения достоверности различий применяли показатель «НСР₀₅» (наименьшая существенная разность для 5%-ного уровня значимости). Обработка математических данных осуществлялась согласно методикам, изложенным Б.А. Доспеховым⁷.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Так как твердая пшеница используется в производстве различных продуктов, причем макаронные изделия являются наиболее важными с точки зрения товарной ценности, уровень содержания белка для первого класса должен составлять не менее 13,50%. Наибольшее содержание белка по сортам в зерне отмечено в 2021 (15,42%), 2023 (14,89%) и 2025 (14,67%) годах, характеризующихся средним и недостаточным увлажнением (ГТК = 1,23; 0,86 и 0,89). Коэффициент вариации сортов по годам имел значения от 4,4 до 8,4%, что говорит о слабой изменчивости признака. Межсортные коэффициенты вариации изменялись незначительно — от 1,6 до 5,1% (таблица 2).

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ по содержанию белка подтверждает наличие значимых различий по факторам «генотип», «год» и их взаимодействия на изменчивость данного показателя. Фактор «год» оказывает наибольшее влияние (62,3%) на изменчивость признака. Доля влияния «генотип x среда» по содержанию белка составила 25,5%, что говорит о высоком значении условий выращивания для реализации

² Клименко А.И., Гринько А.В., Грабовец А.И. и др.. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022–2026 годы. Ростов-на-Дону: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр», 2022. 736 с.

³ ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка.

⁴ ГОСТ Р 54478-2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице.

⁵ ГОСТ Р 70629-2023 Пшеница. Определение стекловидности опико-компьютерным методом.

⁶ Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

генетического потенциала сорта. Доля фактора «генотип» 12,2% говорит о неэффективности проведения отбора по данному показателю, так как высокие значения признака обусловлены, скорее всего, не генетическими особенностями, а условиями выращивания.

В среднем за 2021–2025 гг. большая часть сортов имели значения на уровне стандартного сорта Кристелла ($14,75 \pm 0,32$) и относятся к первому классу пшеницы. Максимальные значения отмечены у сортов Хризолит (14,80%), Амазонка (14,87%) и Диона (14,91%).

Таблица 2. Содержание белка в зерне у сортов озимой твердой пшеницы, 2021–2025 гг.

Table 2. Protein percentage in grain of winter durum wheat varieties, 2021–2025

Сорт	Содержание белка, %						Cv, %	bi**	σ^2 ***
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее			
Кристелла, ст.	15,95	13,89	15,2	13,49	15,21	14,75	6,9	0,62	0,43
Амазонка	16,03	14,74	15,62	13,29	14,69	14,87	7,1	0,63	0,50
Агат Донской	15,33	14,50	15,20	13,50	14,58	14,62	5,0	0,25	0,40
Диона	15,56	15,20	15,01	13,71	15,06	14,91	4,7	0,12	0,66
Услава	15,06	14,80	14,51	13,39	14,64	14,48	4,4	0,05	0,50
Лакомка	15,06	14,10	14,02	13,40	14,71	14,26	4,5	0,09	0,46
Динас	15,01	13,64	14,93	13,15	14,48	14,24	5,7	0,40	0,37
Эллада	15,51	13,59	15,08	13,72	14,45	14,47	5,8	0,34	0,49
Хризолит	15,47	13,84	16,54	13,48	14,66	14,80	8,4	0,65	1,05
Придонье	15,10	13,90	14,54	13,12	14,33	14,20	5,2	0,32	0,33
Каротинка	15,89	13,99	14,27	13,61	14,72	14,50	5,9	0,34	0,55
Графит	15,07	12,88	13,7	13,07	14,49	13,84	6,7	0,38	0,66
Среднее	15,42	14,09	14,89	13,41	14,67	–	–	–	0,43
Min	15,01	12,88	13,7	13,07	14,33	13,84	–	–	–
Max	16,03	15,2	16,54	13,72	15,21	14,91	–	–	–
HCP ₀₅	0,37	0,63	0,76	0,22	0,25	0,32	–	–	–
Cv*, %	2,4	4,5	5,1	1,6	1,7	–	–	–	–

Примечание: *коэффициент вариации, ** коэффициент линейной регрессии, *** коэффициент стабильности

Таблица 3. Содержание клейковины в зерне у сортов озимой твердой пшеницы, 2021–2025 гг.

Table 3. Gluten content in grain of winter durum wheat varieties, 2021–2025

Сорт	Содержание клейковины, %						Cv, %	bi	σ^2
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее			
Кристелла, ст.	32,5	26,4	30,0	26,5	27,5	28,6	9,2	1,05	0,76
Амазонка	32,2	27,7	30,0	25,1	26,0	28,2	10,3	1,20	0,43
Агат Донской	31,0	27,1	31,5	26,1	25,5	28,2	10,0	1,12	1,01
Диона	29,9	27,9	29,5	26,2	27,2	28,1	5,5	0,62	3,22
Услава	28,9	27,4	28,5	25,6	25,5	27,2	5,8	0,62	0,45
Лакомка	31,7	25,1	27,9	25,6	25,5	27,2	10,2	1,09	1,15
Динас	32,0	26,1	28,7	25,8	25,1	27,5	10,3	1,16	0,49
Эллада	32,6	25,2	30,2	26,5	25,0	27,9	12,0	1,35	1,08
Хризолит	28,5	24,6	28,0	25,9	25,8	26,6	6,2	0,61	0,76
Придонье	31,9	28,6	28,4	24,3	24,5	27,5	11,6	1,19	2,87
Каротинка	30,6	26,0	31,5	26,3	26,1	28,1	9,7	1,05	1,48
Графит	29,8	26,5	28,4	24,2	25,1	26,8	8,6	0,94	0,37
Среднее	31,0	26,5	29,4	25,7	25,7	–	–	–	–
Min	28,5	24,6	27,9	24,2	24,5	–	–	–	–
Max	32,6	28,6	31,5	26,5	27,5	–	–	–	–
HCP ₀₅	1,3	1,2	1,2	0,7	0,8	0,6	–	–	–
Cv, %	4,3	4,4	4,1	2,9	3,3	–	–	–	–

Так как климатические условия считаются нерегулируемыми факторами среды, основной задачей селекционеров является повышение экологической устойчивости, их способности стабильно обеспечивать высокие показатели продуктивности и качества зерна в меняющихся условиях. Коэффициент линейной регрессии (bi) (0,05–0,65) указывает на низкую чувствительность изученных сортов по данному показателю к изменению условий выращивания. Такие сорта считаются экологически устойчивыми, содержание белка у них слабо реагирует на улучшение условий, но стабильно при неблагоприятных факторах.

В целом, такие значения характерны для адаптированных к конкретным зонам сортов [18]. Наибольшей стабильностью по данному показателю характеризуются сорта Придонье, Динас с наименьшими значениями дисперсии (σ^2) специфической адаптивной способности (0,33–0,37).

Содержание клейковины по сортам варьировало от 26,6 до 28,6%. Наибольшие средние значения отмечены в 2021 и 2023 гг. — 31,0 и 29,4%. Коэффициент варьирования по годам ($V = 5,5$ — 12,0%) и по сортам ($V = 2,9$ — 4,4%) указывает на слабую изменчивость признака (таблица 3).

Дисперсионный анализ показал, что изменчивость содержания клейковины определяется, в большей степени, фактором «год» — 50,04%. Однако фактор «взаимодействие среда х генотипа» на данный признак оказывает также значительное влияние — 39,81%. Таким образом, непосредственное (прямое) и опосредованное — через взаимодействие с генотипом — влияние внешних условий составляет почти 90%. Корреляционный анализ показал положительную корреляцию содержания клейковины с температурой воздуха в мае ($r = 0,85 \pm 0,22$) и отрицательную — в июне ($r = -0,87 \pm 0,22$). Это согласуется с исследованиями Vida и др., согласно которым повышение среднемесячной температуры в июне и июле снизили содержание клейковины для всех изучаемых сортов твердой пшеницы, а увеличение жарких дней в мае способствовало его повышению [19].

Наибольшие значения признака отмечены у сортов Каротинка (28,1%), Диона (28,1%), Амазонка (28,2%), Агат Донской (28,2%), Кристелла (28,6%). Данные сорта

соответствуют I классу качества ($> 28,0\%$). Остальные по данному признаку относятся ко II классу. Ни один из изученных сортов не превзошел стандарт Кристелла по содержанию клейковины.

Если судить по коэффициенту регрессии, то 8 из 12 изученных сортов имеют значения $bi > 1$, что говорит об их высокой экологической пластичности, они обладают высокой отзывчивостью по содержанию клейковины на изменение условий произрастания и требуют высокого уровня агротехники. Следует отметить сорта Графит и Амазонка с коэффициентами линейной регрессии 0,94; 1,20 и стабильности 0,37; 0,43, что говорит о высокой пластичности и стабильности по данному показателю.

Стекловидность характеризуется значительной изменчивостью по годам ($V = 19,9\text{--}25,6\%$) (таблица 4).

Проведенный дисперсионный анализ показал, что изменчивость стекловидности напрямую зависит от внешних условий: доля фактора «год» составляет 91,39%. Обильные осадки в период созревания и уборки в 2023 году привели к значительному снижению стекловидности в среднем по сортам до 53%. Сильная зависимость данного показателя от влажности почвы и воздуха во время уборки отмечены в исследованиях А.-N. Sieber и др. и Fu et al. [5, 7]. Наибольшие значения (93–98%) отмечены в 2022, 2024 и 2025 гг., в годы, когда во время налива и созревания осадки отсутствовали или имели кратковременный характер.

Такая зависимость от внешних условий требует исследований в отношении стабильности данного показателя под воздействием влажности. Коэффициенты линейной регрессии и варианты (σ^2) указывают на ценность сортов Диона, Придонье и Кристелла как высокопластичных и стабильных по данному показателю ($bi = 0,96\text{--}1,04$; $\sigma^2 = 0,71\text{--}0,96$).

Межсортные коэффициенты изменчивости ($V = 1,8\text{--}10,9$) указывают на то, что сорта одинаково реагируют на изменения внешних условий возделывания. Абсолютные значения стекловидности в среднем за 2021–2025 гг. варьировали от 76 до 89%. В целом половина сортов отвечает требованиям первого класса по данному показателю (более 85%): Диона, Кристелла, Придонье, Каротинка, Графит и Амазонка.

Урожайность зерна у изученных сортов в среднем за 2021–2025 гг. имела значения от 8,26 до

Таблица 4. Стекловидность зерна у сортов озимой твердой пшеницы, 2021–2025 гг.

Table 4. Grain hardness of winter durum wheat varieties, 2021–2025

Сорт	Стекловидность, %						Cv, %	bi	σ^2
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее			
Кристелла, ст.	81	100	53	100	97	86	23,4	0,91	0,96
Амазонка	90	99	58	99	98	89	19,9	0,94	18,57
Агат Донской	74	95	55	98	91	83	21,8	1,10	6,43
Диона	78	99	51	100	96	85	24,6	1,01	0,71
Услада	82	98	51	98	88	83	23,2	1,07	13,85
Лакомка	74	97	53	99	99	84	24,3	0,94	16,44
Динас	76	97	54	94	92	83	21,7	0,92	3,30
Эллада	68	93	54	97	84	79	22,7	0,98	29,56
Хризолит	61	90	50	95	83	76	25,6	1,05	24,88
Придонье	80	100	53	99	96	86	23,3	1,04	0,86
Каротинка	88	100	53	99	99	88	22,9	0,99	19,35
Графит	92	100	54	99	96	88	22,0	1,06	36,73
Среднее	79	97	53	98	93	–	–	–	–
Min	61	90	50	94	83	–	–	–	–
Max	92	100	58	100	99	–	–	–	–
HCP ₀₅	9	3	2	2	5	4	–	–	–
Cv, %	10,9	3,1	3,8	1,8	5,8	–	–	–	–

Таблица 5. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по основным хозяйственно-ценным признакам, 2021–2025 гг.

Table 5. Characteristics of winter durum wheat varieties according to main economically valuable traits, 2021–2025

Сорт	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %	Стекловидность, %	Урожайность, т/га
Кристелла, ст.	14,75	28,6	86	8,26
Амазонка	14,87	28,2	89	8,68
Агат Донской	14,62	28,2	83	9,29
Диона	14,91	28,1	85	8,92
Услада	14,48	27,2	83	8,78
Лакомка	14,26	27,2	84	8,78
Динас	14,24	27,5	83	9,10
Эллада	14,47	27,9	79	9,18
Хризолит	14,80	26,6	76	8,95
Придонье	14,20	27,5	86	9,81
Каротинка	14,50	28,1	88	8,89
Графит	13,84	26,8	88	9,68
HCP ₀₅	0,32	0,6	4	0,62

9,81 т/га. Большая часть сортов превысила стандарт на 0,63–1,55 т/га или на 7,6–18,8%. Наибольшую урожайность сформировали сорта Агат Донской (9,29 т/га), Графит (9,68 т/га) и Придонье (9,81 т/га) (таблица 5).

Согласно корреляционно-регрессионному анализу, увеличение урожайности сопровождается снижением содержания белка ($r = -0,68 \pm 0,42$), клейковины ($-0,80 \pm 0,35$), увеличением стекловидности ($r = 0,87 \pm 0,28$). Согласно О.В. Крупновой, отрицательная связь белка и урожайности обусловлена различными факторами, в том числе недостатком доступного азота в почве, неполном его поглощении в процессе вегетации растений по ряду причин (стресс-факторы, ограниченный генетический потенциал), неполной реутилизацией азота из вегетативных частей в зерно, прекращение поглощения азота из почвы из-за старения растений т.д. [20].

Несмотря на эти зависимости, следует отметить сорта Каротинка и Диона, сочетающие высокое содержание белка (14,50 и 14,91% соответственно), клейковины (28,1%), стекловидности (88 и 85%) и урожайность 8,89–8,92 т/га (выше стандарта Кристелла на 0,63–0,66 т/га или на 7,6–8,0%). Кроме того, выделены сорта, которые, помимо урожайности 8,92–9,81 т/га, характеризуются высокими значениями клейковины (Агат Донской — 28,24%), белка (Хризолит — 14,80%), стекловидности (Придонье — 86%, Графит — 88%).

Выводы/Conclusion

В результате проведенных исследований установлено, что показатель «содержание белка» у изученных сортов озимой твердой пшеницы слабо реагирует на изменения внешних условий ($C_v = 4,4$ – $8,4\%$). Наибольшей стабильностью по данному показателю характеризуются сорта Придонье, Динас.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ложкин А.Г., Васильев О.А., Дмитриев В.Л., Каюкова О.В., Яковлева М.И. Особенности формирования урожайности и качества пшеницы твердой яровой в условиях Чувашской Республики. *Аграрная наука*. 2024; (2): 87–91. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-87-91>
2. Shakir S. *et al.* Quality mapping of durum wheat germplasm as a tool for development of high quality pasta varieties. *Scientific Reports*. 2026; 16: 3760. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33790-1>
3. Шаболкина Е.Н., Анисимкина Н.В. Влияние сортовых особенностей твердой пшеницы на технологические и хлебопекарные качества муки при смешивании с мягкой пшеницей. *Зерновое хозяйство России*. 2021; (6): 67–72. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-67-72>
4. Giunta F., Bassu S., Mefleh M., Motzo R. Is the Technological Quality of Old Durum Wheat Cultivars Superior to That of Modern Ones When Exposed to Moderately High Temperatures during Grain Filling?. *Foods*. 2020; 9(6): 778. <https://doi.org/10.3390/foods9060778>
5. Sieber A.-N., Würschum T., Longin C.F.H. Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat. *Journal of Cereal Science*. 2015; 61: 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.10.008>
6. Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Стекловидность зерна и оценка адаптивной способности перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2023; (2): 44–50. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-44-50>
7. Fu B.X., Wang K., Dupuis B., Taylor D., Nam S. Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*. 2018; 79: 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.003>
8. Ammar K., Kronstad W.E., Morris C.F. Breadmaking Quality of Selected Durum Wheat Genotypes and Its Relationship with High Molecular Weight Glutenin Subunits Allelic Variation and Gluten Protein Polymeric Composition. *Cereal Chemistry*. 2000; 77(2): 230–236. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.2.230>
9. Ye L. *et al.* The Role of Gluten in Food Products and Dietary Restriction: Exploring the Potential for Restoring Immune Tolerance. *Foods*. 2023; 12(22): 4179. <https://doi.org/10.3390/foods12224179>
10. Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Development, results and prospects of the spring durum wheat breeding in Russia (post-Soviet states). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023; 27(6): 591–608. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-71>
11. Васильченко С.А., Метлина Г.В., Ковтунов В.В. Влияние сроков, способов посева и норм высева на продуктивность сорго зернового сорта Зерноградское 88. *Зерновое хозяйство России*. 2022; (4): 91–96. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-91-96>
12. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Влияние уровня влагообеспеченности на урожайность и питательную ценность сорговых культур. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024; 54(2): 22–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-3>
13. Хлыстунов В.Ф., Ковтунов В.В. Результаты определения существенных селекционных признаков эталонного образца сорго зернового. *Зерновое хозяйство России*. 2024; 16(5): 13–20. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-94-5-13-20>
14. Лепехов С.Б. Влияние условий отбора на результативность селекции яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2026; 187(2): 168–177. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-2-017>
15. Халипский А.Н. Стратегия селекции полевых культур в Восточной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2008; (4): 61–66. EDN JUGPBD

По содержанию клейковины большая часть сортов характеризуется экологической пластичностью и высокой отзывчивостью на изменение условий произрастания, требуют высокого уровня агротехники. Сорта Графит и Амазонка с коэффициентами линейной регрессии 0,94; 1,20 и стабильности 0,37; 0,43 выделены как наиболее пластичные и стабильные по данному показателю.

Сорта Каротинка и Диона характеризуются комплексом ценных признаков и сочетают высокое содержание белка (14,50 и 14,91% соответственно), клейковины (28,1%), стекловидности (88 и 85%) и урожайности 8,89–8,92 т/га (выше стандарта Кристелла на 0,63–0,66 т/га или на 7,6–8,0%). Кроме того, выделены сорта, которые, помимо урожайности 8,92–9,81 т/га, характеризуются высокими значениями клейковины (Агат Донской — 28,24%), белка (Хризолит — 14,80%), стекловидности (Придонье — 86%, Графит — 88%).

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

REFERENCES

1. Lozhkin A.G., Vasiliev O.A., Dimitriev V.L., Kayukova O.V., Yakovleva M.I. Features of the formation of yield and quality of durum spring wheat in the conditions of the Chuvash Republic. *Agrarian science*. 2024; (2): 87–91 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-87-91>
2. Shakir S. *et al.* Quality mapping of durum wheat germplasm as a tool for development of high quality pasta varieties. *Scientific Reports*. 2026; 16: 3760. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33790-1>
3. Shabolikina E.N., Anisimkina N.V. The effect of varietal traits of durum wheat on the technological and baking qualities of flour when mixed with bread wheat. *Grain Economy of Russia*. 2021; (6): 67–72 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-67-72>
4. Giunta F., Bassu S., Mefleh M., Motzo R. Is the Technological Quality of Old Durum Wheat Cultivars Superior to That of Modern Ones When Exposed to Moderately High Temperatures during Grain Filling?. *Foods*. 2020; 9(6): 778. <https://doi.org/10.3390/foods9060778>
5. Sieber A.-N., Würschum T., Longin C.F.H. Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat. *Journal of Cereal Science*. 2015; 61: 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.10.008>
6. Kiryakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G. Vitricity of grain and evaluation of adaptive capability of perspective lines of spring hard wheat in the conditions of the Omsk region. *Vestnik NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; (2): 44–50 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-44-50>
7. Fu B.X., Wang K., Dupuis B., Taylor D., Nam S. Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*. 2018; 79: 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.003>
8. Ammar K., Kronstad W.E., Morris C.F. Breadmaking Quality of Selected Durum Wheat Genotypes and Its Relationship with High Molecular Weight Glutenin Subunits Allelic Variation and Gluten Protein Polymeric Composition. *Cereal Chemistry*. 2000; 77(2): 230–236. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.2.230>
9. Ye L. *et al.* The Role of Gluten in Food Products and Dietary Restriction: Exploring the Potential for Restoring Immune Tolerance. *Foods*. 2023; 12(22): 4179. <https://doi.org/10.3390/foods12224179>
10. Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Development, results and prospects of the spring durum wheat breeding in Russia (post-Soviet states). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023; 27(6): 591–608. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-71>
11. Vasilchenko S.A., Metlina G.V., Kovtunov V.V. The effect of sowing dates, methods and seedling rates on productivity of the grain sorghum variety 'Zernogradskoe 88'. *Grain Economy of Russia*. 2022; (4): 91–96 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-91-96>
12. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. The effect of the moisture availability rate on the productivity and nutritional value of sorghum crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(2): 22–30 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-3>
13. Khlystunov V.F., Kovtunov V.V. Results of determining essential breeding traits of a standard grain sorghum sample. *Grain Economy of Russia*. 2024; 16(5): 13–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-94-5-13-20>
14. Lepikhov S.B. The effect of initial selection conditions on the breeding results in spring bread wheat. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2026; 187(2): 168–177 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-2-017>
15. Khalipitskiy A.N. Strategy for breeding field crops in eastern Siberia. *Bulletin of KSAU*. 2008; (4): 61–66 (in Russian). EDN JUGPBD

16. Федоренко Е.Н., Лутченко Ж.И., Артыс А.Ю. Оценка линий контрольного питомника яровой мягкой пшеницы в засушливых условиях севера Казахстана. *Аграрная наука*. 2023; (7): 97–101. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-97-101>
17. Попов А.С. и др. Предшественники и сроки посева сорта мягкой озимой пшеницы Юбилей Дона в южной зоне Ростовской области. *Зерновое хозяйство России*. 2022; (4): 97–103. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103>
18. Кузнецов И.Ю., Авсакхов Ф.Ф., Анохина Н.С., Даутова Э.Р., Ягудин А.Г. Адаптивный потенциал сортов и линий озимой мягкой пшеницы в условиях Республики Башкортостан. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2026; (1): 113–121. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2026-1-113-121>
19. Vida G., Cséplő M., Rakszegi M., Bányai J. Effect of Multi-Year Environmental and Meteorological Factors on the Quality Traits of Winter Durum Wheat. *Plants*. 2022; 11(1): 113. <https://doi.org/10.3390/plants11010113>
20. Крупнова О.В. О взаимосвязи урожайности с содержанием белка в зерне у зерновых и бобовых культур (обзор литературы). *Сельскохозяйственная биология*. 2009; (3): 13–23. EDN KMKTRB

ОБ АВТОРАХ

Наталья Александровна Ковтунова¹

кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
n-beseda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0409-5855>

Дмитрий Михайлович Марченко^{1, 2}

кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-5251-3903>

Анна Сергеевна Иванисова¹

кандидат сельскохозяйственных наук,
младший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0003-1466-250X>

Ольга Алексеевна Дубинина¹

агроном
<https://orcid.org/0000-0003-2768-4935>

Кравченко Нина Станиславовна¹

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0003-3388-1548>

¹Аграрный научный центр «Донской»,
Научный городок, 3, Зерноград, Ростовская обл., 347740,
Россия

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

16. Fedorenko E.N., Lutchenko Zh.I., Artys A.Yu. Evaluation of the lines of the control nursery of spring soft wheat in arid conditions North of Kazakhstan. *Agrarian science*. 2023; (7): 97–101 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-97-101>

17. Popov A.S. et al. Forecrops and sowing dates of the winter bread wheat variety 'Yubiley Dona' in the southern part of the Rostov region. *Grain Economy of Russia*. 2022; (4): 97–103 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103>

18. Kuznetsov I.Yu., Avsakhov F.F., Anokhina N.S., Dautova E.R., Yagudin A.G. Adaptive potential of varieties and lines of winter mild wheat in the conditions of the Republic of Bashkortostan. *Legume and groat crops*. 2026; (1): 113–121 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2026-1-113-121>

19. Vida G., Cséplő M., Rakszegi M., Bányai J. Effect of Multi-Year Environmental and Meteorological Factors on the Quality Traits of Winter Durum Wheat. *Plants*. 2022; 11(1): 113. <https://doi.org/10.3390/plants11010113>

20. Krupnova O.V. About relationships between the grain yield and grain protein in cereals and legumes (review). *Agricultural Biology*. 2009; (3): 13–23 (in Russian). EDN KMKTRB

ABOUT THE AUTHORS

Natalia Aleksandrovna Kovtunova¹

Candidate of Agricultural Sciences,
leading researcher
n-beseda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0409-5855>

Dmitry Mikhailovich Marchenko^{1, 2}

Candidate of Agricultural Sciences,
leading researcher
<https://orcid.org/0000-0002-5251-3903>

Anna Sergeevna Ivanisova¹

Candidate of Agricultural Sciences,
junior researcher
<https://orcid.org/0000-0003-1466-250X>;

Olga Alekseevna Dubinina¹

agronomist
<https://orcid.org/0000-0003-2768-4935>

Nina Stanislavovna Kravchenko¹

Candidate of Biological Sciences,
leading researcher
<https://orcid.org/0000-0003-3388-1548>

¹Agricultural Research Center «Donskoy»,
3 Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740,
Russia

²Donskoy State Technical University,
1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russia

УДК 633.522: 631.559.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-97-103

И.В. Бакулова

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ i.bakulova.pnz@fncl.k.ru

Поступила в редакцию: 02.06.2026

Одобрена после рецензирования: 11.09.2026

Принята к публикации: 25.09.2026

© Бакулова И.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-97-103

Irina V. Bakulova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Russia, Tver

✉ i.bakulova.pnz@fncl.k.ru

Received by the editorial office: 02.06.2026

Accepted in revised: 11.09.2026

Accepted for publication: 25.09.2026

© Bakulova I.V.

Повышение продуктивности сорта конопли Людмила путем регулирования нормы высева и применения фолиарных подкормок

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Исследование направлено на повышение продуктивности сорта конопли Людмила посредством регулирования нормы высева и применения фолиарных подкормок. Анализируется влияние данных агротехнических приемов на ключевые показатели урожайности.

Методы. В целях оптимизации технологических параметров нового сорта были проведены исследования по определению оптимальных норм высева, основанные на практических рекомендациях. Методологической базой научного эксперимента послужили методические указания по проведению полевых и вегетационных опытов с коноплей (1980). Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена на основе методов дисперсионного, корреляционного анализов по методике Б.А. Доспехова (1985) с использованием пакета программ Agros.

Результаты. Препарат Гумат Плюс показал лучшие результаты по сохранности растений. Удобрения Супер Бор, Макси Азот и Профи NPKS наиболее эффективно влияли на высоту растений и нарастание листовой поверхности. Существует прямая корреляция ($r=0,86$) между высотой растений и площадью листовой поверхности, что подтверждает важность стимуляции роста на ранних этапах онтогенеза для формирования потенциала урожайности. Максимальная урожайность семян (до 1,67 т/га) получена при посеве с нормой высева 2 млн/га, на фоне фолиарных подкормок удобрениями Супер Бор и Профи NPKS. Высокий выход стеблей получили при посеве с нормой высева 3 млн шт./га. Для сбора стеблей наиболее эффективны препараты с высоким содержанием макроэлементов (NPK) и бора: Супер Бор (прибавка 3,4 т/га) и Профи NPKS (прибавка 2,4 т/га).

Ключевые слова: конопля, норма высева, фолиарная обработка, урожайность, семена, стебли

Для цитирования: Бакулова И.В. Повышение продуктивности сорта конопли Людмила путем регулирования нормы высева и применения фолиарных подкормок. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 97–103.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-97-103>

Increasing the productivity of the Lyudmila hemp variety by adjusting the seeding rate and using foliar fertilizers

ABSTRACT

Relevance. This study aims to increase the productivity of the Lyudmila hemp variety by adjusting seeding rates and applying foliar fertilizers. The impact of these agricultural practices on key yield indicators is analyzed.

Methods. Methods. To optimize the technological parameters of the new variety, studies were conducted to determine optimal seeding rates based on practical recommendations. The methodological basis for the scientific experiment was the guidelines for conducting field and pot experiments with hemp (1980). Statistical processing of the experimental data was performed using the methods of dispersion and correlation analysis according to B.A. Dospekhov (1985) and the Agros software package.

Results. The Humate Plus preparation demonstrated the best results in terms of plant survival. Super Bor, Maxi Nitrogen, and Profi NPKS fertilizers most effectively stimulated plant height growth and leaf area expansion. A direct correlation ($r=0.86$) was found between plant height and leaf area, confirming the importance of growth stimulation during the early stages of development for maximizing yield potential. The maximum seed yield (up to 1.67 t/ha) was achieved with a seeding rate of 2 million seeds/ha, coupled with foliar fertilization with Super Bor and Profi NPKS. A high stem yield was achieved with a seeding rate of 3 million seeds/ha. Fertilizers with high levels of macronutrients (NPK) and boron were the most effective for stem harvesting: Super Bor (increased yield by 3.4 t/ha) and Profi NPKS (increased yield by 2.4 t/ha).

Key words: hemp, seeding rate, foliar treatment, yield, seeds, stems

For citation: Bakulova I.V. Increasing the productivity of the Lyudmila hemp variety by adjusting the seeding rate and using foliar fertilizers. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 97–103 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-97-103>

Введение/Introduction

Конопля — одна из важнейших сельскохозяйственных культур, используемых в текстильной, пищевой и медицинской промышленности [1]. Несмотря на природную выносливость и пластичность данного растения, реализация его генетического потенциала напрямую зависит от совершенствования агротехнологий [2, 3].

В современных условиях развития АПК приоритетной задачей становится внедрение инновационных решений, направленных на интенсификацию производства и повышение качественных характеристик урожая, что невозможно без глубокого научного обоснования [4, 5].

Поиск новых методов улучшения условий произрастания растений является одной из задач в области развития современного растениеводства [6, 7]. Сегодня одним из таких направлений является использование органо-минеральных препаратов, способствующих росту продуктивности [8]. Как правило, это предусматривает повышение эффективности использования минеральных удобрений путем их более рационального применения. Внесение питательных веществ через листовую поверхность в критические фазы вегетации обеспечивает их оперативное усвоение [9]. Данный метод стимулирует фотосинтез, оптимизирует метаболические процессы и укрепляет адаптационный потенциал растений к стрессовым факторам. Исследования показывают, что максимальная эффективность достигается при комплексном подходе, сочетающем рациональную густоту стояния растений с грамотно подобранными листовыми подкормками [10, 11]. Оптимальная плотность посева обеспечивает сбалансированное распределение ресурсов (света, влаги, элементов питания), а дополнительное питание поддерживает высокую физиологическую активность растений в течение всего вегетационного периода, что в совокупности ведет к росту урожайности [12–15]. Интеграция инновационных органо-минеральных комплексов в систему питания растений в совокупности с оптимизированными показателями густоты стояния позволяет заложить фундамент для получения урожая с высокими количественными и качественными характеристиками [16, 17]. Это особенно актуально в контексте импортозамещения и развития отечественной сырьевой базы для переработки конопли.

Цель исследования — установить наиболее эффективное взаимодействие нормы высева и фолиарных подкормок для получения максимально

возможного урожая с высокими количественными и качественными характеристиками перспективного сорта конопли посевной Людмила.

Материал и методы исследования / Material and methods

Изучение влияния нормы высева и фолиарных обработок растений на повышение продуктивности сорта конопли посевной Людмила, внесенного в Государственный реестр селекционных достижений в 2023 году, осуществлялось постановкой и проведением полевого опыта на экспериментальном участке Федерального научного центра лубяных культур в 2024–2025 годах в условиях Пензенской области. Методологической базой научного эксперимента послужили методические указания по проведению полевых и вегетационных опытов с коноплей (1980)¹. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена на основе методов дисперсионного, корреляционного анализов по методике Б.А. Доспехова (1985)² с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции Агрос 2.09 (Россия). Учитывая результаты предварительных экспериментов³, а также рекомендуемые для условий региона нормы высева для конопли⁴, был осуществлен полевой двухфакторный опыт по схеме:

Фактор А — норма высева:

- 1) 2,0 млн/га,
- 2) 3,0 млн/га,
- 3) 4,0 млн/га.

Фактор В — фолиарная подкормка растений:

- 1) контроль (без обработки);
- 2) ПрофиФлекс-РГК: Профи Супер Азот (0,8 л/га),
- 3) ПрофиФлекс-РГК: Профи Супер Бор (0,8 л/га),
- 4) ПрофиФлекс-РГК: Профи NPKS (1 л/га),
- 5) ПрофиФлекс-РГК: Премиум Макси Азот (0,8 л/га),
- 6) ПрофиФлекс-РГК: Гумат Плюс (1 л/га).

Проведение наземных обработок осуществляли с помощью ранцевого опрыскивателя с учетом расхода рабочей жидкости 200 л/га. Подкормки проводили в фазы 5–6 пар листьев и в фазу бутонизации. Данные по используемым препаратам представлены в таблице 1.

Посев проводили в первой декаде мая сеялкой для размножения Клен-1.5, (ООО «КЛЕН», Россия). Почвы опытного участка по типу черноземы выщелоченные, по механическому составу — тяжелосуглинистые, с содержанием гумуса 4,7 % (по Тюрину ГОСТ 26213-91⁵), фосфора — 206 мг/кг и калия — 220 мг/кг (по методу Чирикова

¹ Методические указания по проведению полевых и вегетационных опытов с коноплей. сост. Г.Р. Бедак и др. М.: ВАСХНИЛ. 1980; 34.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985; 351.

³ Бедак Г.Р. и др. Методические указания по проведению полевых и вегетационных опытов с коноплей. М.: ВАСХНИЛ. 1980; 34

⁴ Серков В.А. и др. Возделывание однодомной конопли посевной среднерусского экотипа Практические рекомендации. Пенза. 2018. — 37 с.,

⁵ ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества.

Таблица 1. Препараты для foliarной подкормки (фактор В)

Table 1. Foliar Feeding Preparations (Factor B)

Торговое название, препаративная форма, производитель, страна	Норма расхода препарата, л/га	Действующие вещества, их количество в препарате
ПрофиФлекс-РГК: профи Супер Азот, суспензионное удобрение, («ПрофиФлекс», РФ)	0,8	азот общий 300 г/л, азот амидный 138 г/л, азот аммонийный 81 г/л, азот нитратный 81 г/л, органическое вещество 12 г/л, гуминовые кислоты 9 г/л
ПрофиФлекс-РГК: профи Супер Бор, водорастворимый концентрат, («ПрофиФлекс», РФ)	0,8	бор 150 г/л, гуминовые кислоты 7 г/л, азот общий 57 г/л, органические вещества 9 г/л
ПрофиФлекс-РГК: профи NPKS, водорастворимый концентрат, («ПрофиФлекс», РФ)	1,0	азот общий 95 г/л, фосфор 85 г/л, калий 55 г/л, сера 50 г/л, органические вещества 12 г/л, гуминовые кислоты 10 г/л
ПрофиФлекс-РГК: премиум Макси Азот, водорастворимый концентрат, («ПрофиФлекс», РФ)	0,8	азот общий 435 г/л, органические вещества 5 г/л, гуминовые кислоты 4 г/л
ПрофиФлекс-РГК: Гумат Плюс, водорастворимый концентрат, («ПрофиФлекс», РФ)	1,0	органические вещества 52 г/л, гуминовые кислоты 36-45 г/л, калий 11,18 г/л, фульвокислоты 3,99 г/л, азот общий 2,66 г/л, фосфор 0,28 г/л, микроэлементы: железо, магний, марганец, цинк, бор, кобальт, молибден

ГОСТ 26204-91⁶), азота 118 мг/кг (по методу Корнфилда⁷), pH сол. — 5,3 (ГОСТ 26483-85⁸).

Предшественник — чистый пар.

Площадь учетной делянки — 20 м², повторность трехкратная, размещение делянок — рендомизированное.

В опыте проводили фенологические наблюдения, определение густоты стеблестоя в фазу массовых всходов и перед уборкой, листовую поверхность растений определяли по методике А.А. Ничипоровича⁹.

Определяли содержание волокна в стеблях и его качество¹⁰⁻¹². Определение содержания масла в семенах проводили по модифицированному методу Лебедянцева-Раушковского¹³, массу 1000 зерен определяли по ГОСТ 12042-80¹⁴. Уборку и учет урожая осуществляли путем ручного скашивания стеблестоя и обмолота уборочных снопов после их сушки на стационаре.

Сравнительный анализ условий вегетации конопли 2024–2025 гг. демонстрирует адаптивность культуры к различным климатическим сценариям. Условия вегетации 2024 года классифицированы как засушливые, характеризовались выраженным дефицитом влаги (ГТК 0,69, осадки 72,8% от нормы). Сезон 2025 года отличался ранним стартом и повышенным тепловым фоном (сумма активных температур 2278,3 °С). Несмотря на локальный характер осадков (219 мм) и ГТК 0,96, условия были более благоприятными для роста и развития культурных растений по сравнению с предыдущим периодом.

Статистическую обработку данных проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа с оценкой HCP₀₅ для факторов А, В и их взаимодействия, а также корреляционным анализом

(коэффициент Пирсона) для оценки связи высоты растений и площади листовой поверхности; расчеты выполняли в пакете Agros 2.09.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Полевая всхожесть составляла от 164 до 274 растений/м² и изменялась в зависимости от нормы посева, наиболее высокие значения получены при посеве 2 млн/га (в среднем 164 растений/м² или 82 %). На сохранность растений наблюдалось значимое влияние foliarных подкормок. Гумат Плюс показал наилучшие результаты по сохранности, достигнув 95 шт/м² при норме посева 2 млн/га, 139 шт/м² при 3 млн/га и 178 шт/м² при 4 млн/га. Обработки препаратами Супер Бор, Макси Азот, Супер Азот показали хорошие результаты, особенно при максимальной норме посева. Профи NPKS показал наименьшую сохранность среди всех подкормок, особенно при низкой норме посева (71, 124, 134 шт/м²). Выявлено статистически значимое взаимодействие между нормой посева и foliarной подкормкой, что говорит о том, что эффективность некорневых подкормок может зависеть от выбранной нормы посева (таблица 2).

Foliarные обработки оказывали положительное влияние на рост и развитие по сравнению с контролем. При анализе посева в фазу 4–5 пар листьев, когда еще не проводили обработку, большинство вариантов не показывали существенного отличия от контроля по этому показателю (изменение высоты растений). В дальнейшем наблюдается более выраженное положительное влияние удобрений Супер Бор, Профи NPKS и Макси Азот на изменение высоты. Увеличение нормы посева

⁶ ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.

⁷ Методические указания по определению щелочногидролиземого азота в почве по методу Корнфилда. ЦИНАО. Москва 1985. 9 с.

⁸ ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

⁹ Ничипорович А.А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений посевах. М.: ВАСХНИЛ. 1969; 24–32.

¹⁰ ГОСТ 9993-2014 (ГОСТ 9993-74) Пенька короткая. Технические условия. — М.: ФГУП «Стандартинформ», 2015. — 6 с.

¹¹ Сенченко Г.И. и др. Методические указания по селекции конопли и производственной проверке законченных НИР / ВАСХНИЛ. М., 1980. 30 с.

¹² Румянцев Л.Т., Дудник М.Г. Изучение коллекции конопли: методические указания. Л.: ВНИИР, 1989. 20 с.

¹³ Раушковский С.С. Методы исследований при селекции масличных растений по содержанию масла. М.: Пищепромиздат, 1959. 46 с.

¹⁴ ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян

Таблица 2. Полевая всхожесть и сохранность растений при рядовом способе посева, 2024–2025 гг.

Table 2. Field germination and survival of plants with row sowing, 2024–2025.

Фактор В — фолиарная подкормка	Всхожесть, шт/м ²			Сохранность, шт/м ²		
	фактор А-норма высева, млн/га					
	2	3	4	2	3	4
контроль	164	212	264	86	101	138
Супер Азот	163	210	263	81	120	140
Супер Бор	166	213	265	82	136	143
Профи NPKS	164	211	266	71	124	134
Макси Азот	163	212	266	88	124	165
Гумат Плюс	165	211	265	95	139	178
HCP ₀₅	A-2,1; B-NS; AB- NS			A-4,2; B-2,2; AB-3,8		

Таблица 3. Высота растений конопли в зависимости от нормы высева и фолиарной обработки, 2024–2025 гг.

Table 3. Hemp plant height depending on seeding rate and foliar treatment, 2024–2025.

Варианты	5 пар листьев, см	Фаза бутонизации, см	Фаза цветения, см	Фаза созревания, см
Фактор А — норма высева				
2 млн/га	33,5	150,0	182,5	246,7
3 млн/га	30,6	135,4	158,5	211,5
4 млн/га	29,9	130,8	159,6	211,8
HCP ₀₅	0,504	1,074	1,595	0,881
Фактор В — фолиарная подкормка				
контроль	32,2	142,0	159,5	230,3
Супер Азот	30,1	140,9	160,0	209,3
Супер Бор	33,1	144,9	179,3	222,8
Профи NPKS	33,8	142,4	170,6	248,9
Макси Азот	31,9	154,7	178,0	212,2
Гумат Плюс	29,7	132,9	164,8	215,1
HCP ₀₅	0,712	1,519	2,256	1,246
взаим. АВ	1,234	2,631	3,907	2,159

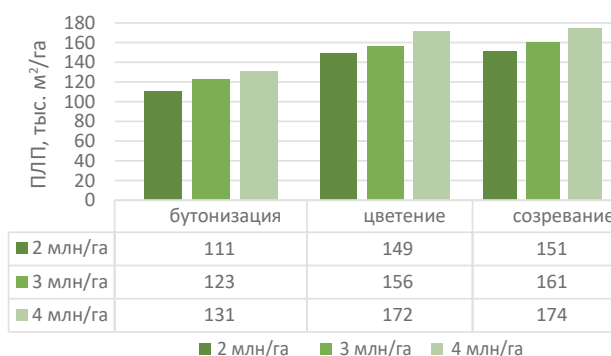
с 2 до 4 млн шт./га сопровождалось снижением высоты растений конопли на поздних этапах онтогенеза (таблица 3).

Установлена прямая корреляция между высотой растения и его листовой площадью, более высокие растения имеют более крупные и многочисленные листья, коэффициент корреляции $r = 0,86$. Площадь листьев при норме высева 2 млн/га составила в фазу бутонизации 111 тыс. м²/га, в фазу цветения 149 тыс. м²/га, в фазу созревания 151 тыс. м²/га, с увеличением нормы высева с 2 до 4 млн/га в фазу бутонизации и цветения площадь листьев нарастала (рисунок 1).

Эффективность листовых подкормок зависела от варианта обработки и фазы, когда было применено удобрение. После первой обработки наиболее активно нарастала листовая поверхность на вариантах с обработкой удобрением Супер Бор и Макси Азот, прибавка относительно контроля составила 14,2; 13,5 тыс. м²/га соответственно

Рис. 1. Влияние нормы высева на площадь листовой поверхности растений конопли, 2024–2025 гг.

Fig. 1. Effect of seeding rate on leaf area of hemp plants, 2024–2025



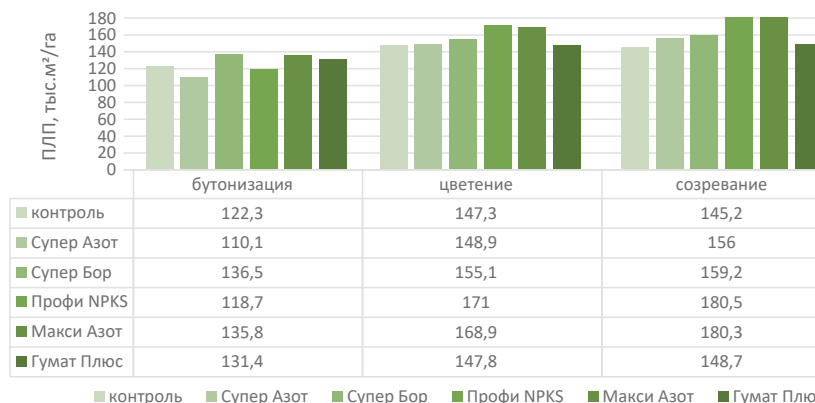
Примечание: HCP₀₅ фактор А (норма высева): фаза бутонизации — 0,89; фаза цветения — 1,57; фаза созревания — 1,46

(рисунок 2). После второй некорневой обработки растений установлено интенсивное нарастание листовой поверхности на всех вариантах использования жидких удобрений в фазу цветения, которое характеризовалось наиболее активным нарастанием площади листьев до фазы созревания семян, выделились варианты с использованием Макси Азот и Профи NPKS. Максимальное формирование листовой поверхности происходило в фазу бутонизации–цветения. Выявлена зависимость ассимиляционной поверхности от изменения нормы высева и варианта некорневой обработки.

Анализ полученных результатов показал, что нормы высева и фолиарные подкормки играют ключевую роль в формировании урожайности семян и стеблей. Установлено, что эффективность подкормок напрямую коррелирует с выбранной нормой высева. Увеличение нормы высева с 2,0 до 3,0 млн/га способствовало росту средней урожайности, дальнейшее повышение нормы до 4,0 млн/га приводило к обратному эффекту — снижению урожайности. Посев с нормой высева 2 млн/га показал наилучшие результаты в целом,

Рис. 2. Влияние фолиарной обработки на площадь листовой поверхности растений конопли, 2024–2025 гг.

Fig. 2. Effect of foliar treatment on leaf area of hemp plants, 2024–2025



Примечание: HCP₀₅ фактор В (фолиарная подкормка): фаза бутонизации — 9,368; фаза цветения — 2,037; фаза созревания — 1,548

особенно при использовании подкормок Супер Бор (средняя урожайность 1,67 т/га) и Профи NPKS (средняя урожайность 1,65 т/га). Подкормки Супер Азот, Макси Азот и Гумат Плюс также дали положительный результат по сравнению с контролем, но в меньшей степени. При посеве с нормой высева 3,0 млн/га высокую урожайность (1,21 т/га) получили на контрольном варианте по сравнению с некоторыми подкормками. Наилучшие результаты среди подкормок показал Профи NPKS (средняя урожайность 1,32 т/га). Норма высева 4 млн/га характеризовалась самыми низкими средними показателями урожайности среди всех исследованных норм, даже при использовании подкормок. Контрольный вариант при данной норме высева показал приемлемую урожайность (1,10 т/га), однако внесение удобрений не привело к значительному приросту, а в ряде случаев даже к снижению урожайности (например, при применении Макси Азот и Супер Азот). Наиболее эффективными подкормками при этой норме высева оказались Профи NPKS и Гумат Плюс, обеспечившие урожайность семян на уровне 1,23 и 1,27 т/га соответственно.

Урожайность стеблей изменялась от 9,5 до 18,5 т/га. Некорневые подкормки оказывали положительное влияние на урожайность по сравнению с контролем, однако эффективность различных подкормок варьируется. Некорневые обработки препаратами с высоким содержанием основных макроэлементов, в том числе азота, фосфора, калия, содержащим бор в органической форме достоверно повышали сбор стеблей с единицы площади. Прибавка составила при использовании Супер Бор 3,4 т/га, Профи NPKS 2,4 т/га. Увеличение нормы высева с 2,0 млн/га до 3,0 млн/га приводило к росту урожайности стеблей. Однако дальнейшее увеличение нормы высева до 4,0 млн/га не дало такого же выраженного эффекта, а в некоторых случаях даже привело к снижению урожайности по сравнению с нормой 3,0 млн/га (таблица 4). Поэтому для достижения максимальной урожайности стоит ориентироваться на норму высева 3,0 млн/га, так как норма 2,0 млн/га может быть недостаточной, а 4,0 млн/га не всегда оправдана.

Масса 1000 семян изменялась от 14,7 г до 18,9 г, наилучший результат по крупности семян отмечен при норме высева 2,0 млн/га с обработкой посева Супер Азот (18,9 г против 16,0 г на контроле). С увеличением нормы высева до 4,0 млн/га масса семян в среднем снижается, что является типичным для загущенных посевов. Максимальные показатели масличности зафиксированы при использовании Макси Азот (32,4% при 2,0 млн/га) и Супер Бор (32,3% при

Таблица 4. Влияние нормы высева и фолиарной обработки на урожайность семян и стеблей, т/га 2024–2025 гг.

Table 4. Effect of seeding rate and foliar treatment on seed and stem yield, t/ha 2024–2025

Фактор А — норма высева	Фактор В — фолиарная обработка	Урожайность семян, т/га			Урожайность стеблей, т/га		
		2024	2025	средняя	2024	2025	средняя
2,0 млн/га	контроль	0,99	1,09	1,04	9,6	10,5	10,1
	Супер Азот	1,22	1,60	1,41	11,7	11,3	11,5
	Супер Бор	1,67	1,09	1,38	20,0	14,5	17,3
	Профи NPKS	1,70	1,59	1,65	18,5	11,4	15,0
	Макси Азот	1,21	1,21	1,21	11,6	11,0	11,3
	Гумат Плюс	1,40	1,03	1,22	12,6	9,5	11,1
3,0 млн/га	контроль	1,10	1,31	1,21	14,4	12,5	13,5
	Супер Азот	0,77	1,27	1,02	10,2	13,5	11,9
	Супер Бор	0,90	1,66	1,28	12,9	16,0	14,5
	Профи NPKS	1,20	1,74	1,47	12,4	17,5	15,0
	Макси Азот	0,84	1,23	1,04	9,3	15,8	12,6
	Гумат Плюс	0,94	1,04	0,99	10,0	13,7	11,9
4,0 млн/га	контроль	1,01	1,18	1,10	12,2	13,2	12,7
	Супер Азот	1,01	1,11	1,06	12,6	13,6	13,1
	Супер Бор	1,04	1,33	1,19	12,5	13,8	13,2
	Профи NPKS	1,49	1,05	1,27	15,5	15,0	15,3
	Макси Азот	0,75	1,36	1,06	10,1	14,2	12,2
	Гумат Плюс	1,30	1,16	1,23	15,5	11,2	13,4
НСР ₀₅ фактор А		0,057	0,007	0,068	0,689	0,098	NS
Фактор В		0,080	0,010	0,096	0,974	0,139	0,835
Взаим. АВ		0,139	0,023	0,166	1,687	0,311	1,446

Таблица 5. Влияние нормы высева и фолиарной обработки на массу 1000 семян (г) и содержание масла (%), 2024–2025 гг.

Table 5. Effect of seeding rate and foliar treatment on the weight of 1,000 seeds (g) and oil content (%), 2024–2025

Фактор В — фолиарная обработка	Масса 1000 семян, г			Содержание масла, %		
	фактор А — норма высева, млн/га					
	2	3	4	2	3	4
контроль	16,0	15,3	16,5	31,8	31,4	32,0
Супер Азот	18,9	15,9	15,4	30,9	30,7	30,9
Супер Бор	16,6	16,1	15,1	32,3	31,7	31,4
Профи NPKS	16,3	14,7	16,0	30,0	30,2	30,9
Макси Азот	16,0	16,3	16,2	32,4	29,8	32,1
Гумат Плюс	16,6	16,4	16,3	32,1	30,8	31,3
НСР ₀₅	А–0,135; В–0,191; АВ–0,331			А–0,089; В–0,125; АВ–0,217		

2,0 млн/га) при 31,4–32,0 % на контроле (таблица 5). Изменчивость показателя масличности незначительна, коэффициент вариации 2,5%. Заметна обратная корреляция: на вариантах с высокой прибавкой вегетативной массы (стеблей) накопление масла в семенах снижается.

Общее содержание волокна изменялось от 24,4 до 35,6% и определялось изучаемыми факторами. Увеличение нормы высева от 2 до 4 млн/га повышало общее содержание волокна в стебле от 29,0 до 32,0%, длинного волокна от 16,3 до 17,4%. Фолиарная обработка не влияла на содержание общего волокна, но отмечено увеличение выхода длинного волокна на большинстве вариантов с подкормкой. Применение в качестве подкормки препаратов Супер Азот, Профи NPKS повышало содержание длинного волокна в стебле на 8,7; 5,6% (таблица 6).

Таблица 6. Влияние нормы высева и фолиарной обработки на содержание общего и длинного волокна, %, 2024–2025 гг.

Table 6. Effect of seeding rate and foliar treatment on the content of total and long fiber, %, 2024–2025

Фактор В — фолиарная обработка	Содержание общего волокна, %			Содержание длинного волокна, %		
	фактор А — норма высева, млн/га					
	2	3	4	2	3	4
контроль	31,5	31,9	32,0	16,2	17,2	17,1
Супер Азот	29,5	30,7	35,6	18,3	19,0	17,9
Супер Бор	24,4	31,2	31,8	14,4	16,7	18,0
Профи NPKS	30,3	26,0	29,8	16,6	16,5	20,2
Макси Азот	27,0	29,6	32,6	16,4	15,4	15,5
Гумат Плюс	31,2	31,9	30,4	15,6	16,0	15,4
HCP ₀₅	A–0,224; B–0,316; AB–0,707			A–0,314; B–0,445; AB–0,990		

Выводы/Conclusion

Комплексный подход к выбору нормы высева и системы фолиарных подкормок является ключевым фактором успешного выращивания конопли, обеспечивающим высокую урожайность и

качество продукции при рациональном использовании ресурсов.

Для получения высоких качественных показателей (максимальная крупность семян и высокая масличность) наиболее эффективной является норма высева 2 млн шт./га, обеспечивающая урожайность семян соответственно 1,38 т/га, 1,41 т/га, 1,65 т/га (особенно при использовании подкормок Супер Бор, Супер Азот с нормой расхода 0,8 л/га, или Профи NPKS с нормой расхода препарата 1 л/га).

Для максимизации сбора стеблей и выхода волокна целесообразно использовать норму высева 3 млн шт./га с применением препаратов Супер Бор с нормой расхода препарата 0,8 л/га или Профи NPKS с нормой расхода 1 л/га. При выращивании конопли на технические цели увеличение нормы высева до 4 млн шт./га способствует повышению содержания общего и длинного волокна.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках «Программы создания и развития селекционно-семеноводческого центра (ССЦ) по техническим культурам для создания и внедрения в агропромышленный комплекс современных сортов и технологий на основе разработок Федерального научного центра лубяных культур» (№ 09.ССЦ.25.16).

FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the “Program for the creation and development of a breeding and seed center (SSC) for industrial crops for the creation and implementation in the agro-industrial complex of modern varieties and technologies based on the developments of the Federal Scientific Center for Bast Crops” (No. 09.SSC.25.16).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Р.А. Состояние, проблемы и возможности для развития отечественного коноплеводства. *Агротехника и энергообеспечение*. 2019; (4): 42–52. EDN AJDOXA
2. Серков В.А., Кабунина И.В., Ростовцев Р.А. Использование сортов отечественной селекции в коноплеводстве Российской Федерации. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024; (1): 90–93. https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_1_90
3. Рыбас И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2016; 51(5): 617–626. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>
4. Абазов Ш.М., Гаплаев М.Ш., Хусайнов Х.А., Терекбаев А.А., Абазов М.Ш. Влияние средств химизации и биологизации на урожайность культур зернопропашного севооборота при разных способах основной обработки почвы. *Плодородие*. 2022; (1): 54–57. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.14>
5. Коптева Л.А., Игисhev А.В. Влияние применения инновационных разработок и моделей на развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации. *ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика*. 2024; (6): 125–142. <https://doi.org/10.24412/2071-6435-2024-6-125-142>
6. Пыхтин И.Г., Гостев А.В., Нитченко Л.Б., Плотников В.А. Теоретические основы эффективного применения современных ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур. *Земледелие*. 2016; (6): 16–19. EDN WWRGXT
7. Плужникова И.И., Криушин Н.В., Бакулова И.В. Особенности формирования урожайности растений конопли технического назначения под воздействием приемов защиты против вредных организмов. *Аграрная наука*. 2024; (5): 79–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-79-84>
8. Сухорада Т.И., Григорьев П.П., Чернявский В.А., Григулецкий В.Г. Эффективность применения нового органического ростового вещества «Гривлаг» на продуктивность и морфологические показатели сортов технической конопли в условиях Краснодарского края. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2026; (2): 237–241. https://doi.org/10.55186/25876740_2026_69_2_237
9. Рахманова Г.Ф., Гарафутдинова К.Р., Кириллова Н.И., Сафина Р.Р. Органоминеральные удобрения в земледелии и растениеводстве. *Обзор. Ресурсы*. 2023; (4): 68–77. <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2023-61-4-68-77>
10. Евдокимова М.А., Марыина-Чермных О.Г. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; (4): 91–97. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-91-97>
11. Бакулова И.В., Плужникова И.И., Криушин Н.В. Влияние агроприемов на фотосинтетическую деятельность и продуктивность нового сорта конопли посевной в условиях Среднего Поволжья. *Аграрная наука*. 2023; (7): 80–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-80-84>
12. Орлов А.Н., Ткачук О.А., Павликова Е.В. Влияние способов посева и норм высева на урожайность яровой пшеницы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2010; (4): 24–27. EDN NBKCCB

REFERENCES

1. Popov R.A. State, problems and opportunities of development of domestic hemp farming. *Agrotechnics and energy supply*. 2019; (4): 42–52 (in Russian). EDN AJDOXA
2. Serkov V., Kabunina I., Rostovtsev R. Use of domestic breeding varieties in the hemp industry of the Russian Federation. *International Agricultural Journal*. 2024; (1): 90–93 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_1_90
3. Rybas I.A. Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Agricultural Biology*. 2016; 51(5): 617–626. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617eng>
4. Abasov Sh.M., Gaplaev M.Sh., Husainov H.A., Terkebayev A.A., Abasov M.Sh. Influence of chemistry and biologization means on crops yield of grain rotation with different methods of basic soil treatment. *Plodородие*. 2022; (1): 54–57 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.14>
5. Kopteva L.A., Igishev A.V. The impact of the application of innovative developments and models on the development of the agro-industrial complex of the Russian Federation. *ETAP: Economic theory, analysis, practice*. 2024; (6): 125–142 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2071-6435-2024-6-125-142>
6. Pykhtin I.G., Gostev A.V., Nitchenko L.B., Plotnikov V.A. Theoretical basis for effective application of modern resource-saving technologies of grain crops cultivation. *Zemledelie*. 2016; (6): 16–19 (in Russian). EDN WWRGXT
7. Pluzhnikova I.I., Kriushin N.V., Bakulova I.V. Features of the formation of the yield of industrial hemp plants under the influence of methods of protection against harmful organisms. *Agrarian science*. 2024; (5): 79–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-79-84>
8. Sukhorada T., Grigoriev P., Chernyavsky V., Griguletskiy V. Effectiveness of using the new organic growth substance “Grivlag” on the productivity and morphological indicators of technical hemp varieties in the Krasnodar region. *International Agricultural Journal*. 2026; (2): 237–241 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2026_69_2_237
9. Rakhmanova G.F., Garafutdinova K.R., Kirillova N.I., Safina R.R. Organomineral fertilizers in agriculture and crop production (review). *Rice growing*. 2023; (4): 68–77 (in Russian). <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2023-61-4-68-77>
10. Evdokimova M.A., Maryina-Chermnykh O.G. Influence of growth regulators on photosynthetic activity of spring barley crops. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018; (4): 91–97 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-91-97>
11. Bakulova I.V., Pluzhnikova I.I., Kriushin N.V. The influence of agricultural practices on photosynthetic activity and productivity of a new variety of cannabis in the Middle Volga region. *Agrarian science*. 2023; (7): 80–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-80-84>
12. Orlov A.N., Tkachuk O.A., Pavlikova Ye.V. Influence of sowing technique and seeding rates on spring wheat yielding capacity. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2010; (4): 24–27 (in Russian). EDN NBKCCB

13. Кадыров С.В., Подлесных Н.В., Задорожная В.А., Образцов В.Н. Влияние норм высева и азотного питания на показатели качества твердой яровой пшеницы в условиях лесостепи ЦЧР. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023; 16(3): 22–28. EDN UVJTTE
14. Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В., Шибряева Л.С., Подзоров А.В. Закономерность промышленной густоты посева озимой пшеницы на ее урожайность. *Инженерные технологии и системы*. 2023; 33(4): 490–507. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.490-507>
15. Осипов А.И., Шкрабак Е.С. Роль некорневого питания в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019; 54: 44–52. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-11044>
16. Борисенко В.В., Хусид С.Б., Лысенко Ю.А., Фолиянц Б.В. Биологическая активность гуминового комплекса различного происхождения и его влияние на рост и развитие растений. *Научный журнал КубГАУ*. 2015; 110. EDN SGYEKF
17. Гриц Н.В., Ростовцев Р.А., Диченский А.В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах. *Аграрная наука*. 2023; (10): 88–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94>

ОБ АВТОРАХ

Ирина Владимировна Бакулова

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий
i.bakulova.pnz@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8504-1001>

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский пр-т, 17/56, Тверь, 170041, Россия.

13. Kadyrov S.V., Podlesnykh N.V., Zadorozhnaya V.A., Obraztsov V.N. Effect of seeding rate and nitrogenous nutrition on quality parameters of hard spring wheat in the conditions of forest-steppe of the Central Chernozem Region. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16(3): 22–28 (in Russian). EDN UVJTTE
14. Chaplygin M.E., Zhalnin E.V., Shibryaeva L.S., Podzorov A.V. Patterns of Influence of Winter Wheat Sowing Density on its Yield. *Engineering Technologies and Systems*. 2023; 33(4): 490–507 (in Russian). <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.490-507>
15. Osipov A.I., Shkrabak E.S. Role of foliar nutrition in increasing of agricultural crops productivity. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019; 54: 44–52 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-11044>
16. Borisenko V.V., Khusid S.B., Lysenko Yu.A., Foliyants B.V. Biological activity of different sorts of humic complex and its influence on the growth of plants. *Scientific journal of KubSAU*. 2015; 110 (in Russian). EDN SGYEKF
17. Grits N.V., Rostovtsev R.A., Dichensky A.V. The use of elements of digital agriculture to obtain climate-based crop yields in specialized crop rotations. *Agrarian science*. 2023; (10): 88–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94>

ABOUT THE AUTHORS

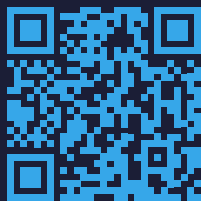
Irina Vladimirovna Bakulova

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Agricultural Technologies
i.bakulova.pnz@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8504-1001>

Federal Scientific Center of Bast Crops,
17/56 Komsomolsky Ave., Tver, 170041, Russia.



**Подпишитесь на Telegram канал
ИД «Аграрная наука»**



Еженедельно вы будете получать свежие новости АПК и сельского хозяйства, анонсы отраслевых событий, знакомиться с результатами научных исследований, репортажами и интервью.



**Оформите подписку на информационные
e-mail рассылки**



Дважды в неделю на ваш e-mail ящик будут приходить уведомления о топовых событиях АПК, аналитика, прогнозы, приглашения на выставки и конференции.

Через наши рассылки вы можете познакомиться со своими товарами и услугами потенциальных клиентов.

**Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777-67-67
(доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru**

С.В. Бандык ✉

А.А. Латыпова

Т.Н. Лисина

Е.А. Елохова

В.А. Печенкина

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Россия

✉ sshcherbenok@bk.ru

Поступила в редакцию: 05.04.2026

Одобрена после рецензирования: 11.09.2026

Принята к публикации: 25.09.2026

© Бандык С.В., Латыпова А.А., Лисина Т.Н., Елохова Е.А., Печенкина В.А.

Изучение продуктивности растений и качества мини-клубней картофеля разных сортов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур в мире, играющей ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности. Реализация генетического потенциала продуктивности сортов напрямую зависит от качества посадочного материала. Наиболее эффективным решением проблемы накопления инфекций при традиционном размножении является метод микроклонального размножения *in vitro* с последующим культивированием в условиях защищенного грунта.

Методы. Исследование проведено в Пермском НИИСХ — филиале ПФИЦ УрО РАН. Объектами исследования выбраны девять сортов картофеля столового назначения трех групп спелости (ранние, среднеранние, среднеспелые) российской, белорусской и немецкой селекции. В качестве посадочного материала использовали меристемные растения, культивированные *in vitro* на среде Мурасиге-Скуга в течение 28 дней ($t = 21-24^\circ\text{C}$, 16-часовой фотопериод). Растения высаживали в сосуды объемом 5 л с торфяным грунтом и выращивали в теплице. Учет мини-клубней проводили по фракциям (9–20, 21–40, более 41 мм). Определяли содержание сухого вещества, крахмала и простых сахаров. Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа.

Результаты. Установлены существенные межсортные различия по продуктивности, фракционному составу и биохимическим показателям мини-клубней. Наибольшее количество мини-клубней на куст сформировали сорта Мастак (7,9 шт.) и Лель (6,4 шт.). Наибольшая средняя масса мини-клубней выявлена у растений сорта Севим (64,2 г), Гарантия (58,8 г) и Невский (57,9 г). По содержанию сухого вещества и крахмала выделены сорта Гранд (28,3% и 19,2%) и Мастак (27,3% и 19,0%).

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., мини-клубни, сорт, защищенный грунт, сухое вещество, крахмал

Для цитирования: Бандык С.В., Латыпова А.А., Лисина Т.Н., Елохова Е.А., Печенкина В.А. Изучение продуктивности растений и качества мини-клубней картофеля разных сортов. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 104–110.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-104-110>

Sofya V. Bandyk ✉

Alina A. Latypova

Tatyana N. Lisina

Ekaterina A. Elokhova

Victoria A. Pechenkina

Perm Agricultural Research Institute — division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

✉ sshcherbenok@bk.ru

Received by the editorial office: 05.04.2026

Accepted in revised: 11.09.2026

Accepted for publication: 25.09.2026

© Bandyk S.V., Latypova A.A., Lisina T.N., Elokhova E.A., Pechenkina V.A.

Study of plant productivity and quality of potato mini-tubers of different varieties

ABSTRACT

Relevance. Potato is one of the most important agricultural crops in the world, playing a key role in ensuring food security. The realization of the genetic potential of variety productivity directly depends on the quality of planting material. The most effective solution for the problem of infection accumulation during traditional propagation is the method of microclonal propagation *in vitro* followed by cultivation under protected ground conditions.

Methods. The study was fulfilled in Perm Agricultural Research Institute. The objects of the study were nine potato varieties of food purpose from three maturity groups (early, medium-early, medium-ripening) of Russian, Belarusian, and German breeding. Meristem plants cultured *in vitro* on Murashige–Skoog medium for 28 days ($t = 21-24^\circ\text{C}$, 16-hour photoperiod) were used for planting. The plants were placed to 5 L containers with a peat mixture and grown in the greenhouse. Minutubers were counted by fractions (9–20, 21–40, more than 41 mm). The content of dry matter, starch, and simple sugars was determined according to National Standards. Statistical data processing was performed using analysis of variance.

Results. Significant intervarietal differences in productivity, fractional composition, and biochemical parameters of minutubers were defined. The highest number of minutubers per plant was formed by varieties Mastak (7.9 pcs.) and LeL (6.4 pcs.). The varieties Sevim (64.2 g), Garantiya (58.8 g), and Nevsky (57.9 g) were characterized by the maximum average mass of minutubers. In the leading Varieties Grand (28.3% and 19.2%) and Mastak (27.3% and 19.0%) were the leaders in terms of dry matter and starch content.

Key words: *Solanum tuberosum* L., minutubers, variety, protected ground, dry matter, starch

For citation: Bandyk S.V., Latypova A.A., Lisina T.N., Elokhova E.A., Pechenkina V.A. Study of plant productivity and quality of potato mini-tubers of different varieties. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 104–110 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-104-110>

Введение/Introduction

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из важнейших сельскохозяйственных культур в мире, занимая четвертое место по объему производства после пшеницы, риса и кукурузы [1]. Благодаря своей высокой пищевой ценности, универсальности использования и экономической рентабельности, он культивируется более чем в 40 странах и играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности населения, в том числе в России [2–5].

Достижение оптимального уровня урожайности обеспечивается за счет использования высокопродуктивных сортов, высадки качественного посадочного материала и внедрения современных технологий на всех этапах возделывания [6].

Одним из определяющих факторов высокой и стабильной урожайности картофеля является генетический потенциал сорта [7]. От сорта зависит возможная продуктивность, устойчивость к стрессовым факторам различного характера и интенсивность накопления соединений, которые в конечном итоге определяют качество картофеля. [8]. В связи с этим во многих странах мира, включая Россию, ведутся интенсивные селекционные работы, направленные на создание и улучшение сортов по целому ряду направлений [9–13]. Ежегодно в Государственный реестр селекционных достижений включаются новые сорта картофеля превосходящие стандарты по урожайности, устойчивости к болезням и вредителям, адаптивности к различным климатическим условиям и качественным характеристикам [14, 15].

Создание перспективных сортов является первым этапом получения высокого урожая. Реализация генетического потенциала, заложенного селекционерами, напрямую зависит от качества используемого посадочного материала [16–18].

Традиционное вегетативное размножение картофеля клубнями в открытом грунте сопряжено с серьезной проблемой — накоплением вирусных, бактериальных и грибных инфекций [19, 20]. Это приводит к снижению урожайности, продуктивности и ухудшению качества получаемой продукции. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос получения и использования качественного, оздоровленного безвирусного посадочного материала [21–23].

В настоящее время наиболее эффективным решением данной проблемы является метод микроклонального размножения *in vitro* с последующим культивированием в условиях защищенного грунта [24]. Эта технология позволяет не только быстро размножать растения, сохраняя их генетическую однородность, но и получать посадочный материал, свободный от патогенов [25–28]. Изучение урожайности и хозяйственно ценных

признаков сортов картофеля местной и зарубежной селекции представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Цель данного исследования — сравнение продуктивности меристемных растений картофеля и оценка качества полученных мини-клубней.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование было проведено в Пермском научно-исследовательском институте сельского хозяйства — филиале Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук с мая по сентябрь 2025 года. В качестве объектов исследования были выбраны сорта картофеля столового назначения разных групп спелости: ранние — Палац, Першацвет и Джулия (60–70 дней от посадки до формирования товарного урожая); среднеранние — Мастак, Севим, Невский (70–80 дней от посадки до формирования товарного урожая); среднеспелые — Лель, Гарантия, Гранд (80–100 дней от посадки до формирования товарного урожая). Сорта Лель, Гарантия, Мастак, Палац, Першацвет — сорта Белорусской селекции (НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству). Сорта Джулия, Гранд и Невский — сорта отечественной селекции (ООО «Молянов Агро Групп», ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», Ленинградский НИИСХ «Белогорка»). Сорт Севим выведен в Германии.

В эксперименте участвовали меристемные растения, культивированные *in vitro* на агаризированной питательной среде Мурасиге—Скуга [29] в пробирках Ф1,5*1,6 см с 5 мл питательной среды. Стерилизацию среды проводили автоклавированием при 120 °С и давлении 1,0 атм в течение 22 минут. Период культивирования микроклонов картофеля в пробирках длился 28 дней ($t^{\circ} = 21\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$, 16-часовой фотопериод).

В эксперименте участвовало 378 растений, по 42 растения каждого сорта (рис. 1). Растения *in vitro* высаживали в сосуды объемом 5 литров и помещали в теплицу. В качестве субстрата была

Рис. 1. Растения картофеля в условиях защищенного грунта на 45-й день после высадки из *in vitro*, фото С.В. Бандык

Fig. 1. Plants of nutrients in the green house on 45th day after planting from *in vitro*, foto by S.V. Bandyk



использована торфосмесь (верховой торф (Veltorf, Россия), вермикулит (Агровермикулит, Россия) в соотношении 4:1), которая имела следующие агрохимические показатели: азот (25,7 мг/кг) по ГОСТ 27894.4-88¹, фосфор (159 мг/кг) по ГОСТ 27894.5-88², и калий (142 мг/кг) по ГОСТ 27894.6-88³.

Минеральное питание обеспечивалось внесением удобрений Solar универсал 19:19:19 + МЭ и Монокалийфосфат водорастворимый РК 52:34 (ГК Уралхим, Россия). Полив осуществлялся по мере необходимости. Учет мини-клубней проводили по ГОСТ 33996-2016⁴. Мини-клубни разделяли на фракции по наибольшему поперечному диаметру на три категории: 9–20 мм, 21–40 мм и более 41 мм. В мини-клубнях картофеля определяли содержание сухого вещества по ГОСТ 33977-2016⁵, содержание крахмала и простых сахаров по ГОСТ 26176-2019⁶.

Для статистической обработки полученных данных использовали метод дисперсионного анализа с определением наименьшей существенной разницы⁷.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Данные по среднему количеству полученных мини-клубней с одного куста по всем исследуемым в настоящей работе сортам представлены в таблице 1.

Раннеспелые сорта (Палац, Першацвет, Джулия) показали сходные результаты по среднему количеству мини-клубней с одного куста. Среднее количество клубней на один куст составило 5,2–5,3 шт., что находится в несущественных пределах статистически несущественных различий ($HCP_{05} = 0,7$). По фракционному составу у всех трех сортов преобладала средняя фракция (21–40 мм): от 4,5 до 4,6 шт. на куст. При этом сорт Джулия выделялся несколько большим выходом мелкой фракции (9–20 мм) — 0,6 шт., тогда как у сортов Палац и Першацвет этот показатель составил 0,2 и 0,3 шт. соответственно, однако статистически достоверных различий не обнаружено. Крупной фракции (более 41 мм) у ранних сортов сформировалось немного: 0,1–0,4 шт. на куст. При получении мини-клубней важным является количество мини-клубней, а не только размер, так как именно этот показатель определяет коэффициент размножения.

Среднеранние сорта продемонстрировали существенные межсортные различия. Наибольшей продуктивностью отличался сорт Мастак, сформировавший в среднем 7,9 мини-клубня на

куст, что достоверно выше других сортов этой группы ($HCP_{05} = 0,7$). Основная масса клубней (7,0 шт.) приходилась на фракцию 21–40 мм. Сорта Севим и Невский уступали сорту Мастак по общему выходу мини-клубней: 3,4 и 4,4 шт. соответственно. У сортов Невский и Севим наблюдалась тенденция к формированию более крупных мини-клубней: выход фракции свыше 41 мм составил 0,8 и 0,7 шт., что достоверно выше ($HCP_{05} = 0,4$), чем у сорта Мастак (0,1 шт.).

Среднеспелые сорта также различались по продуктивности. Наибольший урожай продемонстрировал сорт Лель — 6,4 мини-клубня на куст, преимущественно (5,3 шт.) средней фракции. Сорта Гарантия и Гранд сформировали достоверно меньше клубней — 4,3 и 4,2 шт. соответственно ($HCP_{05} = 0,7$). При этом у сорта Гранд отмечен наибольший среди всех изученных сортов выход крупной фракции — 0,8 шт. на куст (на уровне Невского), тогда как у сортов Лель и Гарантия этот показатель составил 0,5 и 0,6 шт. Без учета группы спелости по общему количеству мини-клубней выделены сорта Мастак (7,9 шт.) и Лель (6,4 шт.).

По фракционному составу практически у всех сортов доминировала средняя фракция (21–40 мм), составляющая основу стандартного посадочного материала. Наибольшее количество крупных мини-клубней (более 41 мм) сформировали сорта Невский, Гранд и Севим (0,7–0,8 шт.), что может быть связано с их генетическими особенностями, определяющими более интенсивный рост клубней в тепличных условиях. Мелкой фракции

Таблица 1. Среднее количество мини-клубней картофеля, шт.

Table 1. Average number of minitubers, pcs.

Наименование сорта	Среднее количество мини-клубней на один куст, шт.	Среднее количество мини-клубней на один куст по фракциям, шт.		
		9–20 мм	21–40 мм	от 41 мм
Ранние				
Палац	5,2	0,2	4,6	0,4
Першацвет	5,2	0,3	4,5	0,4
Джулия	5,3	0,6	4,6	0,1
Среднеранние				
Мастак	7,9	0,8	7,0	0,1
Севим	3,4	0,3	2,4	0,7
Невский	4,4	0,6	3,0	0,8
Среднеспелые				
Лель	6,4	0,7	5,3	0,5
Гарантия	4,3	0,3	3,4	0,6
Гранд	4,2	0,5	2,9	0,8
НСР ₀₅	0,7	0,5	0,7	0,4

¹ ГОСТ 27894.4-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения нитратного азота. Москва; 1989

² ГОСТ 27894.5-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм фосфора. Москва; 1989

³ ГОСТ 27894.6-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм фосфора. Москва; 1989

⁴ ГОСТ 33996-2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. Москва: Стандартинформ; 2020

⁵ ГОСТ 33977-2016. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения содержания сухих веществ. — 2016. — 12с.

⁶ ГОСТ 26176-2019. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидрализующих углеводов. Москва: Стандартинформ; 2020

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

(9–20 мм) больше всего отмечено у сорта Мастак (0,8 шт.) и Лель (0,7 шт.).

Изучение средней массы мини-клубней выявило существенные различия как между сортами разных групп спелости, так и внутри групп (табл. 2).

Среди раннеспелых сортов наибольшей средней массой мини-клубней характеризовались Першацвет (45,1 г) и Палац (42,4 г), которые статистически достоверно превосходили по этому показателю сорт Джулия (26,8 г). ($HCp_{05} = 8,0$).

Анализ фракционного состава показал, что во фракции 9–20 мм масса мини-клубней варьировала от 4,4 до 6,3 г, однако статистически значимых различий не было обнаружено. Средняя масса мини-клубней в средней фракции (21–40 мм) сортов Палац и Першацвет (36,2 г и 36,7 г соответственно) существенно превышала показатель сорта Джулия (24,2 г) ($HCp_{05} = 5,1$). Крупная фракция (более 41 мм) характеризовалась высокой массой у всех трех сортов (от 85,4 до 95,7 г), однако статистически значимых различий не было выявлено).

В группе среднеранних сортов наблюдались существенные различия. Наибольшая средняя масса мини-клубня отмечена у сорта Севим (64,2 г), несколько ниже у сорта Невский (57,9 г) и наименьшая — у сорта Мастак (30,0 г) ($HCp_{05} = 8,0$).

При анализе фракций установлено, что в мелкой фракции все сорта данной группы показали близкие результаты (3,9–5,3 г), различия не превышали $HCp_{05} = 1,3$. В средней фракции Севим (37,7 г) и Невский (37,9 г) достоверно превосходили Мастак (30,7 г) ($HCp_{05} = 5,1$). Наиболее показательные различия выявлены в крупной фракции: средняя масса мини-клубня у сорта Мастак составила 82,7 г, что достоверно ниже сортов Севим и Невский (129,9 г и 121,1 г соответственно).

Среди среднеспелых сортов наибольшая средняя масса мини-клубня отмечена у сорта Гарантия (58,8 г), достоверно ниже этот показатель был у сортов Гранд (47,6 г) и Лель (37,4 г) ($HCp_{05} = 8,0$).

В мелкой фракции все три сорта имели близкие показатели (4,7–5,1 г). В средней фракции сорт Гарантия (45,2 г) статистически достоверно превосходил как сорт Лель (34,5 г), так и сорт Гранд (35,8 г) ($HCp_{05} = 5,1$). В крупной фракции по наибольшей средней массе мини-клубня отмечен сорт Гарантия (121,9 г), что достоверно выше показателей сортов Гранд и Лель.

По совокупности данных наибольшей средней массой мини-клубней характеризовались сорта Севим (64,2 г), Гарантия (58,8 г) и Невский (57,9 г), которые достоверно превосходили по этому показателю остальные изученные сорта. Наименьшая средняя масса мини-клубней отмечена у сортов Джулия (26,8 г) и Мастак (30,0 г).

В ходе работы были определены показатели сухого вещества, крахмала и сахаров в мини-клубнях картофеля. Полученные данные отражены в таблице 3.

Таблица 2. Средняя масса одного мини-клубня, г

Table 2. Average weight of minitubers, g

Название сорта	Средняя масса одного мини-клубня, г	Средняя масса одного мини-клубня по фракциям, г		
		9–20 мм	21–40 мм	от 41 мм
Ранние				
Палац	42,4	6,3	36,2	95,7
Першацвет	45,1	4,4	36,7	87,5
Джулия	26,8	4,2	24,2	85,4
Среднеранние				
Мастак	30,0	4,6	30,7	82,7
Севим	64,2	3,9	37,7	129,9
Невский	57,9	5,3	37,9	121,1
Среднеспелые				
Лель	37,4	4,7	34,5	101,2
Гарантия	58,8	5,1	45,2	121,9
Гранд	47,6	4,7	35,8	87,5
НСР ₀₅	8,0	1,3	5,1	15,0

Таблица 3. Содержание сухого вещества, крахмала и общего сахара в мини-клубнях, %

Table 3. Content of dry matter, starch, and total sugars in minitubers, %

Название сорта	Сухое вещество	Крахмал	Общий сахар
Ранние			
Палац	18,81	12,9	1,3
Першацвет	22,92	13,2	1,1
Джулия	18,16	11,9	0,7
Среднеранние			
Мастак	27,26	19,0	0,5
Севим	25,77	13,7	0,5
Невский	20,70	14,9	0,5
Среднеспелые			
Лель	18,29	15,6	1,4
Гарантия	24,90	16,1	0,7
Гранд	28,28	19,2	0,8
HCp₀₅	1,21	0,79	0,15

Содержание сухого вещества и крахмала напрямую связано с качеством семенного материала. Мини-клубни с высокой плотностью (высоким содержанием сухого вещества и крахмала) формируют более мощные растения с большей энергией роста [30]. Это критически важно для оздоровленного исходного материала, поскольку от качества мини-клубня зависит успех первого полевого поколения.

По содержанию сухого вещества в мини-клубнях лидируют среднеспелый сорт Гранд (28,3%) и среднеранний сорт Мастак (27,3%), что достоверно выше всех исследуемых сортов ($HCp_{05} = 1,21$).

Наибольшую крахмалистость мини-клубней также показали сорта Гранд (19,2%) и Мастак (19,0%). Эти сорта по данному показателю статистически достоверно превышают все остальные, за исключением сорта Гарантия (16,1%) ($HCp_{05} = 0,79$). Наименьшее содержание крахмала отмечено у сортов ранней группы спелости: Джулия (11,9%), Палац (12,9%) и Першацвет (13,2%), что обусловлено непродолжительным периодом вегетации, недостаточным для интенсивного накопления данного полисахарида в мини-клубнях [31, 32].

Следует подчеркнуть, что выявленная вариабельность содержания крахмала и сухого вещества даже в контролируемых условиях подтверждает, что эти признаки являются сорто-специфичными, но подвержены влиянию факторов среды [33].

Минимальное содержание простых сахаров зафиксировано у среднеранних сортов Мастак, Севим и Невский (по 0,5%). Эти сорта достоверно отличаются по данному показателю от сортов Лель (1,4%), Палац (1,3%) и Першацвет (1,1%) ($HCp_{05} = 0,15\%$). Максимальное содержание сахаров у сорта Лель (1,4%) достоверно выше, чем у всех остальных сортов.

Согласно литературным данным, содержание редуцирующих сахаров в клубнях является генетически детерминированным признаком, однако сильно зависит от условий выращивания, температуры хранения и физиологического возраста клубней [34, 35]. В нашем исследовании все растения находились в одинаковых условиях защищенного грунта, поэтому выявленные различия можно с высокой долей уверенности отнести именно к сортовым особенностям.

Выводы/Conclusion

В результате проведенного исследования установлено, что сорта картофеля существенно различаются по продуктивности, фракционному составу

и биохимическим показателям мини-клубней при культивировании растений картофеля в условиях защищенного грунта. Наибольшей продуктивностью по количеству мини-клубней на растение достоверно выделились сорта Мастак (7,9 шт.) и Лель (6,4 шт.) при $HCp_{05} = 0,7$ шт. По средней массе одного мини-клубня лидируют сорта Севим (64,2 г), Гарантия (58,8 г) и Невский (57,9 г), что существенно выше остальных сортов ($HCp_{05} = 8,0$ г); эти же сорта сформировали самые крупные клубни фракции более 41 мм со средней массой от 121,1 до 129,9 г ($HCp_{05} = 15,0$ г). По содержанию крахмала и сухого вещества достоверно отличались сорта Гранд (19,2% и 28,3% соответственно) и Мастак (19,0% и 27,3%) при $HCp_{05} = 0,79\%$ и 1,21%. Наименьшее содержание общих сахаров (0,5%) зафиксировано у сортов Мастак, Севим и Невский, что достоверно ниже, чем у сортов Лель, Палац и Першацвет ($HCp_{05} = 0,15\%$). Проведенный статистический анализ (HCp_{05}) подтверждает, что выявленные межсортовые различия по продуктивности, массе клубней и биохимическому составу носят не случайный, а закономерный характер, обусловленный генетическими особенностями сортов. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем в селекционной работе при подборе родительских форм для создания новых сортов картофеля с полезными качествами.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания, номер регистрации НИОКТР 122031100058 - 3.

FUNDING

The research was carried out as part of a state assignment, registration number of the research and development project 122031100058 - 3

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам ООО «Молянов Агро Групп» (Кинель, Самарская обл., Российская Федерация) и Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству (агрогородок Самохваловичи, Минская область, Республика Беларусь) за предоставление меристемных растений картофеля для исследования.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the staff of Molyanov Agro Group LLC (Kinel, Samara Oblast, Russian Federation) and of the Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Vegetable and Fruit Growing (Samokhvalovich agro-town, Minsk Region, Republic of Belarus) for providing potato meristem plants for the research.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прищепенко Е.А., Сафина Р.Р., Гарипов Н.Э. Опыт применения органоминерального удобрения на картофеле. *Аграрная наука*. 2023; (11): 98–101. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-376-11-98-101>
2. Piekutowska M., Niedbala G. Review of Methods and Models for Potato Yield Prediction. *Agriculture*. 2025; 15(4): 367. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040367>
3. Askari N., Ghahramani R., Reisi A., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B. The Role of Thermal Stress on *In Vitro* Potato Microtuber Induction. *Journal of Vegetables Sciences*. 2023; 6(2): 73–84. <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.562669.1236>
4. Gong H.-L., Dusengemungu L., Igraneza C., Rukundo P. Molecular regulation of potato tuber dormancy and sprouting: a mini-review. *Plant Biotechnology Reports*. 2021; 15(4): 417–434. <https://doi.org/10.1007/s11816-021-00689-y>
5. Song Y. et al. Seed tuber imprinting shapes the next-generation potato microbiome. *Environmental Microbiome*. 2024; 19: 12. <https://doi.org/10.1186/s40793-024-00553-w>
6. Коршунов А.В., Симаков Е.А., Лысенко Ю.Н., Анисимов Б.В., Митюшкин А.В., Гайтов М.Ю. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства. *Достижения науки и техники АПК*. 2018; 32(3): 12–20. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303>
7. Маханько В.Л., Пискун Г.И., Гунько Ю.В., Медведева Е.И. Характеристика новых и перспективных сортов картофеля белорусской селекции. *Главный агроном*. 2020; (10): 53–57. EDN MIZWVI
8. Patel P., Sinha A., Akhtar S., Kumar R. Advances in Breeding for the Development of New Potato Varieties. Solankey S.S. (ed.). *Advances in Research on Potato Production*. Advances in Olericulture. Cham: Springer. 2025; 83–116. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82710-5_4

REFERENCES

1. Prishchepenko E.A., Safina R.R., Garipov N.E. Experience using organomineral fertilizer on potatoes. *Agrarian science*. 2023; (11): 98–101 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-376-11-98-101>
2. Piekutowska M., Niedbala G. Review of Methods and Models for Potato Yield Prediction. *Agriculture*. 2025; 15(4): 367. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040367>
3. Askari N., Ghahramani R., Reisi A., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B. The Role of Thermal Stress on *In Vitro* Potato Microtuber Induction. *Journal of Vegetables Sciences*. 2023; 6(2): 73–84 (in Persian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.562669.1236>
4. Gong H.-L., Dusengemungu L., Igraneza C., Rukundo P. Molecular regulation of potato tuber dormancy and sprouting: a mini-review. *Plant Biotechnology Reports*. 2021; 15(4): 417–434. <https://doi.org/10.1007/s11816-021-00689-y>
5. Song Y. et al. Seed tuber imprinting shapes the next-generation potato microbiome. *Environmental Microbiome*. 2024; 19: 12. <https://doi.org/10.1186/s40793-024-00553-w>
6. Korshunov A.V., Simakov E.A., Lysenko Yu.N., Anisimov B.V., Mityushkin A.V., Gaitov M.Yu. Actual Problems and Priority Directions of Innovative Development of Potato Breeding. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2018; 32(3): 12–20 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303>
7. Makhanko V.L., Piskun G.I., Gunko Yu.V., Medvedeva Ye.I. Characteristics of new and promising potato varieties of Belarusian breeding. *Chief Agronomist*. 2020; (10): 53–57 (in Russian). EDN MIZWVI
8. Patel P., Sinha A., Akhtar S., Kumar R. Advances in Breeding for the Development of New Potato Varieties. Solankey S.S. (ed.). *Advances in Research on Potato Production*. Advances in Olericulture. Cham: Springer. 2025; 83–116. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82710-5_4

9. Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Жевора С.В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Зебрин С.Н. Картофельводство России: состояние и перспективы в новых условиях. *Картофель и овощи*. 2022; (4): 3–6. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.80.38.001>
10. Попова Л.А., Головина Л.Н., Шаманин А.А. Оценка гибридных образцов картофеля в селекционных питомниках в условиях северных регионов России. *Аграрный вестник Урала*. 2022; (8): 39–48. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-223-08-39-48>
11. Paluchowska P., Śliwka, J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022; 255(6): 127. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03910-6>
12. Жевора С.В. Развитие селекции и семеноводства картофеля в России. *Картофель и овощи*. 2025; (1): 38–42. <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.41.86.005>
13. Guo T., Wang X. Research Progress and Trends in Early-Maturing, High-Quality, and Stress-Resistant Breeding Techniques for Potato. *Molecular Microbiology Research*. 2025; 15(2): 59–68. <https://doi.org/10.5376/mmr.2025.15.0007>
14. Васильева С.В., Белов Г.Л., Деревягина М.К., Шабанов А.Э., Зейрук В.Н. Устойчивость сортов картофеля к наиболее вредоносным патогенам. *Овощи России*. 2025; (4): 140–146. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-140-146>
15. Симаков Е.А. и др. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России. *Картофель и овощи*. 2020; (12): 22–26. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.49.70.005>
16. Семчук Н.Н., Шишов А.Д., Сердюк А.С., Симаков Е.А., Митюшкин А.В., Овс Е.В. Модульная технология ускоренного размножения новых перспективных сортов картофеля. *Вестник Новгородского государственного университета*. 2012; 67: 86–90. EDN PFYUWD
17. Куликова В.И., Ходаева В.П., Лапшинов Н.А. Оценка различных способов оздоровления перспективных сортов и гибридов картофеля. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020; 50(4): 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-4-3>
18. Семчук Н.Н., Овс Е.В., Балун О.В., Гладких С.Н. Технология получения и ускоренного размножения здорового посадочного материала растений картофеля (*Solanum tuberosum*). *АгроЭкоИнженерия*. 2023; (1): 92–103. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-92-103>
19. Шанина Е.П., Устьянцев А.В., Оберюкхин Д.А., Лиходеевский Г.А. Влияние спектрального состава света светодиодных ламп на развитие растений картофеля *in vitro*. *Достижения науки и техники АПК*. 2023; 37(10): 34–40. EDN VHMMAAR
20. Bharti K., Kukreja S., Devi S., Singh S., Ahluwalia S. Effect of Different Growing Media and Planting Materials on Growth and Yield of Pre-Basic Seed Potato under Insect-Proof Net House Conditions. *Research Square*. 2025. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7120241/v1>
21. Лисина Т.Н., Дубасова Ю.А., Протасова Е.М., Елисеева А.Д., Щербёнок С.В. Опыт выращивания мини-клубней трех сортов картофеля в условиях защищенного грунта. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2024; (1): 44–49. EDN LRBMCO
22. Смирнова Ю.Д., Подолан Е.А. Приемы повышения эффективности микроклонального размножения картофеля (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(3): 319–329. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.319-329>
23. Melyan G.H. et al. Influence of Nutrient Medium Components on *In Vitro* Tubertization of *Solanum tuberosum* L. and Subsequent Minutuber Production in Aeroponic and Greenhouse Conditions. *Life*. 2025; 15(2): 241. <https://doi.org/10.3390/life15020241>
24. Трофимова В.О. Методы микроклонального размножения. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2023; (10-1): 19–22. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2023-10-1-19-22>
25. Salem J., Hassanein A.M. *In vitro* propagation, microtuberization, and molecular characterization of three potato cultivars. *Biologia plantarum*. 2017; 61(3): 427–437. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0715-x>
26. del Mar Martínez-Prada M., Curtin S.J., Gutiérrez-González J.J. Potato improvement through genetic engineering. *GM Crops & Food*. 2021; 12(1): 479–496. <https://doi.org/10.1080/21645698.2021.1993688>
27. Anikina I. et al. Plant protection from virus: a review of different approaches. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1163270. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163270>
28. Исаева Л.М. Эффективность производства мини-клубней картофеля в условиях защищенного грунта Костромской области. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2025; 20(2): 17–24. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-17-24>
29. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962; 15(3): 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
30. Gathungu G.K., Aguyoh J.N., Isutsa D.K. Optimization of Seed Potato Specific Density, Starch and Dry Matter Contents and Tubertization Capacity of Resultant Plants Through Integrated Irrigation, Nitrogen and Phosphorus Management. *Journal of Plant Sciences*. 2015; 3(4): 225–233.
31. Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Чехалкова Л.К. Влияние применения возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля нового сорта «Смоляночка». *Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии*. 2024; (2): 62–69. EDN GQSSFA
32. Синцова Н.Ф., Лыскова И.В., Кратюк Е.И., Архипов В.М. Оценка гибридов картофеля по динамике накопления урожайности и содержанию крахмала в клубнях в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(4): 423–432. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432>
33. Flis B., Tatarowska B., Milczarek D., Plich J. Effect of location on starch content and tuber texture characteristics in potato breeding lines and cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2017; 67(5): 453–461. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1299792>
34. Щербёнок С.В., Лисина Т.Н., Елисеев С.Л., Каракайтис Д.Ю. Влияние дополнительного УФ-А-облучения на некоторые биохимические и морфометрические показатели картофеля в условиях защищенного грунта. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025; 186(3): 150–162. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-3-150-162>
35. Islam M.M. et al. Dry Matter, Starch Content, Reducing Sugar, Color and Crispiness Are Key Parameters of Potatoes Required for Chip Processing. *Horticulturae*. 2022; 8(5): 362. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050362>
9. Simakov E.A., Anisimov B.V., Zhevara S.V., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Zebrin S.N. Potato growing in Russia: current state and prospects under new conditions. *Potato and vegetable*. 2022; (4): 3–6 (in Russian). <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.80.38.001>
10. Popova L.A., Golovina L.N., Shamanin A.A. Evaluation of hybrid potato samples in breeding nurseries in the conditions of the northern regions of Russia. *Agriarian Bulletin of the Urals*. 2022; (8): 39–48 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-223-08-39-48>
11. Paluchowska P., Śliwka, J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022; 255(6): 127. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03910-6>
12. Zhevara S.V. Development of potato breeding and seed production in the Russia. *Potato and vegetable*. 2025; (1): 38–42 (in Russian). <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.41.86.005>
13. Guo T., Wang X. Research Progress and Trends in Early-Maturing, High-Quality, and Stress-Resistant Breeding Techniques for Potato. *Molecular Microbiology Research*. 2025; 15(2): 59–68. <https://doi.org/10.5376/mmr.2025.15.0007>
14. Vasilieva S.V., Belov G.L., Derevyagina M.K., Shabanov A.E., Zeyruk V.N. Resistance of potato varieties to the most harmful pathogens. *Vegetable crops of Russia*. 2025; (4): 140–146 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-140-146>
15. Simakov E.A. et al. Current trends in the development of potato breeding and seed production in Russia. *Potato and vegetable*. 2020; (12): 22–26 (in Russian). <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.49.70.005>
16. Semchuk N.N., Shishov A.D., Serdyuk A.S., Simakov E.A., Mityushkin A.V., Oves E.V. Modular technology for rapid propagation of new promising potato varieties. *Vestnik of Novgorod State University*. 2012; 67: 86–90 (in Russian). EDN PFYUWD
17. Kulikova V.I., Khodaeva V.P., Lapshinov N.A. Assessment of different ways of improving promising potato varieties and hybrids. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2020; 50(4): 23–31 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-4-3>
18. Semchuk N.N., Oves E.V., Balun O.V., Gladkikh S.N. Technology of obtaining and accelerated reproduction of healthy planting material of potato plants (*Solanum tuberosum*). *AgroEcoEngineering*. 2023; (1): 92–103 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-92-103>
19. Shanina E.P., Ust'yantsev A.V., Oberyukhtin D.A., Likhodeevskii G.A. The influence of the spectral composition of light from LED lamps on the development of potato plants *in vitro*. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2023; 37(10): 34–40 (in Russian). EDN VHMMAAR
20. Bharti K., Kukreja S., Devi S., Singh S., Ahluwalia S. Effect of Different Growing Media and Planting Materials on Growth and Yield of Pre-Basic Seed Potato under Insect-Proof Net House Conditions. *Research Square*. 2025. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7120241/v1>
21. Lisina T.N., Dubasova Yu.A., Protasova E.M., Eliseeva A.D., Shcherbenok S.V. Experience in growing minitubers of three potato varieties in protected soil conditions. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2024; (1): 44–49 (in Russian). EDN LRBMCO
22. Smirnova Yu.D., Podolian E.A. Techniques for increasing the efficiency of microclonal propagation of potatoes (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(3): 319–329 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.319-329>
23. Melyan G.H. et al. Influence of Nutrient Medium Components on *In Vitro* Tubertization of *Solanum tuberosum* L. and Subsequent Minutuber Production in Aeroponic and Greenhouse Conditions. *Life*. 2025; 15(2): 241. <https://doi.org/10.3390/life15020241>
24. Trofimova V.O. Methods of microclonal reproduction. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2023; (10-1): 19–22 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2023-10-1-19-22>
25. Salem J., Hassanein A.M. *In vitro* propagation, microtuberization, and molecular characterization of three potato cultivars. *Biologia plantarum*. 2017; 61(3): 427–437. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0715-x>
26. del Mar Martínez-Prada M., Curtin S.J., Gutiérrez-González J.J. Potato improvement through genetic engineering. *GM Crops & Food*. 2021; 12(1): 479–496. <https://doi.org/10.1080/21645698.2021.1993688>
27. Anikina I. et al. Plant protection from virus: a review of different approaches. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1163270. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163270>
28. Isaeva L.M. Efficiency of potato mini-tubers production in protected soil conditions of Kostroma region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2025; 20(2): 17–24 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-17-24>
29. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962; 15(3): 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
30. Gathungu G.K., Aguyoh J.N., Isutsa D.K. Optimization of Seed Potato Specific Density, Starch and Dry Matter Contents and Tubertization Capacity of Resultant Plants Through Integrated Irrigation, Nitrogen and Phosphorus Management. *Journal of Plant Sciences*. 2015; 3(4): 225–233.
31. Gavrilova A.Yu., Konova A.M., Chekhalkova L.K. The influence of increasing doses of mineral fertilizers on yield and quality of potato tubers of the new variety Smolyanochka. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024; (2): 62–69 (in Russian). EDN GQSSFA
32. Sintsova N.F., Lyskova I.V., Kratyuk E.I., Arkhipov V.M. Evaluation of potato hybrids by the dynamics of accumulation of yield and starch content in tubers in agro-ecological conditions of the Volga-Vyatka region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(4): 423–432 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432>
33. Flis B., Tatarowska B., Milczarek D., Plich J. Effect of location on starch content and tuber texture characteristics in potato breeding lines and cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2017; 67(5): 453–461. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1299792>
33. Shcherbyonok S.V., lisina T.N., Eliseev S.I., Karakajts D.J. The effect of additional UV-A irradiation on some biochemical and morphometric indicators in potato under greenhouse conditions. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2025; 186(3): 150–162 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-3-150-162>
35. Islam M.M. et al. Dry Matter, Starch Content, Reducing Sugar, Color and Crispiness Are Key Parameters of Potatoes Required for Chip Processing. *Horticulturae*. 2022; 8(5): 362. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050362>

ОБ АВТОРАХ:

София Вячеславовна Бандык

младший научный сотрудник
sshcherbenok@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

Алина Айдаровна Латыпова

младший научный сотрудник
alinalatypova87@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4015-4649>

Татьяна Николаевна Лисина

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией
atea2@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>

Екатерина Алексеевна Елохова

младший научный сотрудник
elohova_ekaterina@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-3553-6396>

Виктория Андреевна Печенкина

младший научный сотрудник
p_viktoria2@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4241-4482>

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, 614532, Россия

ABOUT THE AUTHORS:

Sofiya Vyacheslavovna Bandyk

junior researcher
sshcherbenok@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

Alina Aidarovna Latypova

junior researcher
alinalatypova87@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4015-4649>

Tatiana Nikolaevna Lisina

Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Head of a Laboratory
atea2@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>

Ekaterina Alekseevna Elokhova

junior researcher
elohova_ekaterina@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-3553-6396>

Victoria Andreevna Pechenkina

junior researcher
p_viktoria2@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4241-4482>

Perm Agricultural Research Institute — division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences,

12 Kultury st., Lobanovo, Perm Region, 614532 Russia

РЕКЛАМА О+



СИБИРСКАЯ АГРАРНАЯ НЕДЕЛЯ

10–12 НОЯБРЯ

2026

350+

ЭКСПОНЕНТОВ

8 500+

аграриев из СФО, УФО и ДФО

500+

ТЕХНИКИ и агрегатов от мировых брендов

ИННОВАЦИОННЫЕ решения для АПК

ОРГАНИЗАТОР:



СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ: МВК



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

УДК 664:534-8

Научный обзор



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-111-125

Л. Ч. Бурак¹

А. А. Лукин^{2, 3} ✉

А. Н. М. Ансори^{4, 5}

¹ООО «БЕЛРОСАКВА», Минск, Беларусь

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

³Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

⁴Университет Эйрлангга, Мульорехо, Индонезия

⁵Университет Уттаранчал, Дехрадун, Индия

✉ lukin3415@gmail.com

Поступила в редакцию: 02.02.2026

Одобрена после рецензирования: 10.09.2026

Принята к публикации: 26.09.2026

© Бурак Л. Ч., Лукин А. А., Ансори А. Н. М.

Многочастотный высокоинтенсивный ультразвук в пищевой промышленности: применение, эффективность, проблемы и перспективы

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Ультразвуковая обработка, основанная на явлении акустической кавитации, является эффективным способом интенсификации тепло- и массообмена в пищевых технологиях. Вместе с тем традиционные одночастотные системы часто формируют стоячие волны с чередованием узлов и пучностей акустического давления, что обуславливает неоднородность поля, нестабильность воздействия и ограничивает точность управления процессом при промышленном масштабировании. Цель исследования — обобщить и систематизировать данные о молекулярных механизмах действия и практических направлениях применения многочастотного ультразвука (МЧУ) в пищевой промышленности, а также объяснить причины его преимуществ по сравнению с одночастотными режимами.

Методы. В качестве материалов для обзора отобраны научные публикации 2015–2025 гг., проиндексированные в базах Scopus, Web of Science и Google Scholar. Выполнен критический анализ работ, посвященных формированию акустического поля, характеристикам кавитации, влиянию параметров (частота/частоты, мощность, режим, геометрия реактора) на свойства пищевых матриц и технологические показатели.

Результаты. Обзор результатов научных исследований показал, что многочастотный высокоинтенсивный ультразвук (МЧУ) обеспечивает более равномерное распределение кавитационной активности и снижает негативные эффекты, связанные со стоячими волнами. Выявлено, что эффективность МЧУ объясняется не простым суммированием воздействий разных частот, а нелинейными взаимодействиями, приводящими к синергии: стабилизации кавитации, расширению зоны эффективной обработки и повышению воспроизводимости. Это улучшает результативность процессов в широком диапазоне задач — от модификации белков и структурирования дисперсных систем до обработки сложных пищевых тканей, сохраняя при этом качество продукции. Многочастотный высокоинтенсивный ультразвук можно рассматривать как перспективную платформу для модернизации пищевых технологий. Для внедрения в промышленность необходимы углубленные исследования молекулярных механизмов, стандартизация параметров обработки и разработка систем интеллектуального управления для обеспечения контролируемости и масштабируемости.

Ключевые слова: акустическая кавитация, синергетический эффект, зоны кавитации, оптимизация параметров обработки, практическое применение, экономичность, экологичность, инновации

Для цитирования: Бурак Л. Ч., Лукин А. А., Ансори А. Н. М. Многочастотный высокоинтенсивный ультразвук в пищевой промышленности: применение, эффективность, проблемы и перспективы. *Аграрная наука*. 2026; 411(10): 111–125.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-111-125>

Multifrequency high-intensity ultrasound in the food industry: application, efficiency, problems and prospects

ABSTRACT

Relevance. Ultrasonic processing, based on the phenomenon of acoustic cavitation, is an effective method for enhancing heat and mass transfer in food processing. However, traditional single-frequency systems often generate standing waves with alternating nodes and antinodes of acoustic pressure, which leads to field inhomogeneity, instability of the effect, and limits the precision of process control at industrial scale. The aim of this study is to summarize and systematize data on the molecular mechanisms of action and practical applications of multi-frequency ultrasound (MFUS) in the food industry, as well as to explain its advantages over single-frequency modes.

Methods. Scientific publications from 2015–2025, indexed in Scopus, Web of Science, and Google Scholar, were selected for this review. A critical analysis of studies on acoustic field formation, cavitation characteristics, and the influence of parameters (frequency/frequencies, power, mode, and reactor geometry) on the properties of food matrices and process parameters was conducted.

Results. A review of scientific research results showed that multi-frequency high-intensity ultrasound (MFUS) ensures a more uniform distribution of cavitation activity and reduces the negative effects associated with standing waves. It was found that the effectiveness of MHIU is not due to the simple summation of the effects of different frequencies, but to nonlinear interactions leading to synergy: cavitation stabilization, expansion of the effective processing zone, and increased reproducibility. This improves process efficiency across a wide range of applications — from protein modification and structuring of dispersed systems to processing complex food tissues — while maintaining product quality. Multi-frequency high-intensity ultrasound can be considered a promising platform for modernizing food technologies. Industrial implementation requires in-depth research into molecular mechanisms, standardization of processing parameters, and the development of intelligent control systems to ensure controllability and scalability.

Key words: acoustic cavitation, synergistic effect, cavitation zones, optimization of processing parameters, practical application, cost-effectiveness, environmental friendliness, innovation

For citation: Burak L.Ch., Lukin A.A., Ansori A.N.M. Multifrequency high-intensity ultrasound in the food industry: application, efficiency, problems and prospects. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 111–125 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-111-125>

Review



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-111-125

Leonid Ch. Burak¹

Aleksandr A. Lukin^{2, 3} ✉

Arif N. M. Ansori^{4, 5}

¹BELROSACVA LLC, Minsk, Belarus

²South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

³South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

⁴Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

⁵Uttaranchal University, Dehradun, India

✉ lukin3415@gmail.com

Received by the editorial office: 02.02.2026

Accepted in revised: 10.09.2026

Accepted for publication: 26.09.2026

© Burak L.Ch., Lukin A.A., Ansori A.N.M.

Введение/Introduction

В условиях нарастающего изменения климата и постоянного роста населения задача максимального сохранения питательной ценности продуктов при обеспечении их безопасности становится центральной в области пищевой науки [1–3].

Хотя традиционные методы термической обработки эффективно увеличивают срок хранения пищевых продуктов за счет инактивации микроорганизмов и ферментов при высоких температурах, они также приводят к потере чувствительных к теплу питательных веществ [4–8].

Действие высоких температур вызывает денатурацию белков, отрицательно влияет на органолептические показатели и снижает пищевую ценность готового продукта [9, 10].

Ультразвуковые технологии, являясь экологически чистыми и нетермическими методами обработки, изменяют микроструктуру пищевых продуктов благодаря кавитационным эффектам, которые возникают при схлопывании кавитационных пузырьков [11–15].

Данные процессы оптимизируют пути массопереноса и обеспечивают бережный, но эффективный подход к обработке пищевых продуктов. Вместе с тем традиционные одночастотные ультразвуковые системы имеют системные ограничения: стоячие волны в таких системах приводят к неравномерному распределению энергии акустического поля и снижению эффективности передачи энергии. Проводимые исследования показали преимущества многочастотного мощного ультразвука (МЧУ) в различных областях пищевой промышленности [16, 17]. МЧУ устраняет проблемы, возникающие в одночастотных системах, такие как стоячие волны и неоднородность акустического поля, за счет использования нелинейных взаимодействий. Это позволяет сократить время обработки, повысить энергоэффективность и улучшить качество продукции, соответствуя требованиям современного производства к точному контролю и высокой эффективности [18, 19]. Тем не менее, систематический теоретический анализ механизмов действия МЧУ остается недостаточным. Хотя интерес к этой технологии растет, существующие обзорные статьи чаще всего фокусируются либо на применении одночастотного ультразвука, либо на специфических методах обработки с использованием МЧУ.

Цель данного исследования заключается в обобщении и систематизации данных о механизмах действия многочастотного ультразвука (МЧУ) в пищевой промышленности, а также в объяснении причин его преимуществ по сравнению с одночастотными режимами. Это позволит создать более полное представление о том, как МЧУ может быть эффективно применен для улучшения качества и безопасности пищевых продуктов, а также для оптимизации процессов их обработки.

Материал и методы исследования / Material and methods

В качестве материалов для данного обзора отобраны научные материалы, опубликованные в период с 2015 по 2025 гг., которые были проиндексированы в авторитетных базах данных (Scopus, Web of Science и Google Scholar). Этот временной промежуток был выбран для того, чтобы отразить последние достижения и тенденции в области применения многочастотного ультразвука (МЧУ) в пищевой промышленности.

Для анализа были отобраны статьи, охватывающие широкий спектр тем, связанных с формированием акустического поля, характеристиками кавитации и ее влиянием на свойства пищевых матриц.

Особое внимание было уделено исследованиям, в которых рассматриваются различные параметры, такие как частота и мощность ультразвука, режимы работы систем, а также геометрия реактора, используемого в процессе обработки. Критический анализ включал оценку экспериментальных данных и теоретических моделей, описывающих механизмы взаимодействия ультразвука с пищевыми продуктами.

Также была проведена сравнительная оценка результатов различных исследований, чтобы выявить общие закономерности и отличия в подходах к использованию МЧУ. Дополнительно в рамках обзора были проанализированы технологические показатели, такие как эффективность обработки, влияние на органолептические свойства и сохранение питательных веществ, что позволило глубже понять, как различные параметры ультразвука влияют на конечный продукт.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

1. История развития многочастотного ультразвука (МЧУ)

1.1. Принципы и физические механизмы МЧУ

Ультразвуковые волны с частотой более 20 кГц широко применяются в пищевой промышленности преимущественно за счет кавитационных эффектов, включающих зарождение, рост, колебания и схлопывание кавитационных пузырьков в жидких средах под действием акустического поля [20]. Кавитация сопровождается локальными экстремальными условиями (высокими градиентами давления, микроструями, ударными волнами), что обуславливает интенсификацию массопереноса, диспергирование, разрушение клеточных структур и модификацию свойств пищевых матриц [18, 20].

Традиционные одночастотные ультразвуковые системы обладают рядом характерных ограничений, среди которых ключевыми являются выраженная пространственная неоднородность акустического поля (формирование устойчивых стоячих волн) и селективное возбуждение

пузырьков ограниченного диапазона размеров, определяемого выбранной частотой. Многочастотный ультразвук (МЧУ) позволяет в значительной степени преодолеть указанные ограничения за счет одновременного либо попеременного (последовательного) использования двух и более частотных компонентов [18, 21]. Эффективность МЧУ связывают с явлениями нелинейного взаимодействия акустических волн и кавитационных пузырьков, что принципиально изменяет динамику пузырьков по сравнению с одночастотным воздействием [18, 22]. Ниже суммированы три наиболее значимые группы физических механизмов, формирующих преимущества МЧУ.

(1) *Нелинейное усиление кавитации при двухчастотном возбуждении.*

При одновременном воздействии двух близких частот суперпозиция сигналов приводит к временной модуляции акустического давления: амплитуда колебаний периодически изменяется с масштабом времени, соответствующим разности частот. В отличие от одночастотного режима, где колебания пузырьков, как правило, более стационарны, при двухчастотном воздействии формируются чередующиеся фазы низко- и высокоамплитудных колебаний. Дополнительно нелинейное «смешивание» частот генерирует побочные спектральные компоненты, которые могут эффективнее согласовываться с (нелинейно смещаемой) резонансной частотой пузырька, повышая энергозатраты в динамику пузырьков и снижая проявления «насыщения» кавитации [23, 24]. В фазах повышенной амплитуды разность давлений способствует большему расширению пузырька (росту максимального радиуса), а последующее сжатие приводит к более высокоскоростному коллапсу и, как следствие, к увеличению температуры и давления внутри пузырька в момент имплозии [25]. Существенно, что взаимодействие волн разных частот может переводить изначально устойчивые (стабильные) колебания пузырьков в неустойчивые режимы, повышая долю переходной (инерционной) кавитации и обеспечивая синергетический эффект, превосходящий простое линейное наложение полей [26, 27].

(2) *Расширение эффективного частотного диапазона и активация пузырьков разных масштабов.*

МЧУ, охватывая более широкий частотный спектр, способен одновременно активировать популяции пузырьков различных размеров, что обеспечивает взаимодополняющие технологические эффекты [25]. Резонансные свойства пузырьков определяются их равновесным радиусом, поэтому изменение частоты ультразвука приводит к систематическому смещению распределения пузырьков по размерам. Экспериментально показано, что с ростом частоты характерный размер пузырьков уменьшается [26, 28]. Низкочастотный ультразвук (порядка 20–40 кГц) эффективнее возбуждает более крупные пузырьки; теоретические оценки указывают на широкий

диапазон равновесных радиусов при 20 кГц [29]. Коллапс крупных пузырьков чаще сопровождается интенсивными механическими эффектами (ударные волны, микроструи), что особенно важно для разрушения тканей/клеточных структур и интенсификации макромасштабного массопереноса. Напротив, высокочастотный ультразвук (например, > 200 кГц) формирует более мелкие пузырьки с более узким распределением размеров [30], что может быть предпочтительно для задач, требующих повышения межфазного контакта и усиления микромасштабного переноса. В многочастотных режимах сочетание низких и высоких частот создает иерархическое кавитационное поле: крупные пузырьки обеспечивают «жесткое» механическое воздействие, а многочисленные мелкие пузырьки повышают площадь активного взаимодействия и равномерность вовлечения объема среды. Так, в работе Z. Shi et al. показано, что комбинирование частот (20 + 40 кГц) усиливает кавитационные характеристики по сравнению с режимом одной частоты, повышая интенсивность коллапса и долю кавитационных событий [31]. Подобные эффекты согласуются с представлением о том, что одночастотный ультразвук преимущественно возбуждает пузырьки ограниченного диапазона размеров, обусловленного выбранной частотой [32], тогда как МЧУ расширяет «эффективное окно» кавитации и может приводить к кратному росту числа пузырьков по сравнению с одночастотной обработкой [22, 33, 34].

(3) *Подавление стоячих волн и повышение пространственной однородности обработки.*

Для одночастотных систем характерно формирование стоячих волн с устойчивыми узлами и пучностями акустического давления, что порождает выраженную пространственную неоднородность: зоны интенсивной кавитации («горячие точки») соседствуют с областями слабой активности («мертвые зоны») [35]. Интерференция волн разных частот в системах МЧУ ослабляет устойчивые стоячие волновые структуры и способствует более равномерному распределению акустической энергии по объему реактора [35, 36]. Для пищевых технологий, ориентированных на стабильность качества во всем объеме продукта, повышение пространственной однородности является одним из ключевых преимуществ многочастотного подхода.

Количественная выраженность синергетических эффектов МЧУ подтверждается результатами численного моделирования. Так, Ye et al. решали модифицированное уравнение Рэлея-Плессета с учетом двухчастотного воздействия и тепловых эффектов и показали принципиальные различия между одно- и многочастотными режимами [24]. При двухчастотном возбуждении 50 + 70 кГц (при эквивалентной суммарной акустической мощности) максимальный радиус пузырька достигал 36,061 мкм, что соответствует увеличению на 98% относительно 50 кГц (18,183 мкм) и на

147% относительно 70 кГц (14.576 мкм) [24]. Внутреннее давление в момент коллапса возрастало до 2285,9 МПа, что на 213% выше максимума при 50 кГц (730,61 МПа) и на 588% выше, чем при 70 кГц (332,25 МПа). Превышение арифметической суммы вкладов отдельных частот интерпретируется как проявление нелинейного усиления, а не линейной суперпозиции [22, 24]. Возникающие при имплозии экстремальные условия объясняют высокую эффективность МЧУ в задачах разрушения клеточных структур, интенсификации массопереноса и ускорения ряда физико-химических превращений в пищевых матрицах. Вместе с тем, несмотря на демонстрируемые преимущества МЧУ в формировании более интенсивных и пространственно однородных кавитационных полей, одночастотный ультразвук сохраняет высокую практическую значимость. Одночастотные системы характеризуются более простой конструкцией, меньшими капитальными затратами и хорошо стандартизированными режимами, отработанными в ходе длительной промышленной эксплуатации [18, 22]. В приложениях, где требуется направленное возбуждение кавитации в узком диапазоне размеров пузырьков, либо где пространственная неоднородность не является критическим фактором, одночастотный режим может быть технологически и экономически предпочтительным. Следовательно, выбор между одно- и многочастотным воздействием должен определяться конкретными целями обработки, масштабом производства и соотношением «эффект-затраты», а не априорным предположением о безусловном превосходстве того или иного подхода.

Таким образом, оптимизация комбинаций частот и режимов их подачи в МЧУ обеспечивает расширение охвата акустического поля, увеличение интенсивности кавитации и повышение эффективности использования энергии, формируя

более выраженную движущую силу для технологической обработки пищевых продуктов. Совокупность рассмотренных механизмов объясняет, почему многочастотные режимы во многих случаях демонстрируют преимущество по сравнению с одночастотным ультразвуком: за счет формирования более однородных, управляемых и энергетически насыщенных кавитационных полей они частично устраняют фундаментальные ограничения традиционных ультразвуковых схем. Для удобства восприятия ключевые термины, используемые в разделе, сведены в глоссарий и представлены в таблице 1.

1.2. Оборудование для МЧУ

Аппаратурное оформление многочастотной ультразвуковой обработки, как правило, включает три функционально взаимосвязанных блока: а) ультразвуковой генератор (источник и система управления электрическими сигналами), б) ультразвуковые преобразователи (узел преобразования электрической энергии в механические колебания), в) реактор/реакционная камера (объем, содержащий рабочую среду; конструкция определяет гидродинамику и распределение акустического поля). Именно компоновка и согласование этих элементов в значительной степени создают энергетическую эффективность, устойчивость режима и равномерность обработки продукта. По конструктивному принципу и типу ввода энергии ультразвуковое оборудование обычно подразделяют на зондовые (погружные) и ваннные (bath-type) системы [18]. Зондовые установки вводят энергию через сравнительно малую площадь (торец зонда), что обеспечивает высокую локальную интенсивность и целенаправленное воздействие; такие системы эффективны для задач, требующих выраженного энергетического потока в ограниченной зоне обработки [37]. Ваннные реакторы характеризуются бесконтактным режимом по отношению к

Таблица 1. Глоссарий ключевых технических терминов

Table 1. Glossary of key technical terms

Термины	Определения
Кавитация	Процессы зарождения, роста, колебаний и быстрого схлопывания микропузырьков в жидкости под действием ультразвука, сопровождающиеся локальными механическими и физико-химическими эффектами указанных явлений.
Стоячая волна	Стационарная волновая структура, возникающая при интерференции падающих и отражённых акустических волн и формирующая чередование областей повышенного (пучности) и пониженного (узлы) акустического давления.
Синергетический эффект	Ситуация, при которой суммарный технологический/физический эффект совместного воздействия нескольких частот превышает простую сумму эффектов, создаваемых каждой частотой по отдельности.
«Эффект губки»	Попеременное сжатие и расширение тканевой/пористой структуры под действием ультразвуковых механических факторов с формированием микроканалов, улучшающих массоперенос.
Акустическое поле	Пространственно-временное распределение акустического давления, скорости колебаний и/или интенсивности, создаваемое ультразвуковыми излучателями в обрабатываемой среде.
Преобразователь	Устройство, преобразующее электрическую энергию в механические колебания (ультразвук) и/или осуществляющее обратное преобразование.
Частота	Число циклов колебаний в секунду, измеряемое в Гц (кГц).
Плотность мощности	Ультразвуковая мощность, отнесённая к единице объёма или площади; обычно выражается в Вт/л или Вт/см ² .
Порог кавитации	Минимальная амплитуда акустического давления, при которой в данной среде инициируется образование кавитационных пузырьков.
Акустическое течение (acoustic streaming)	Стационарное (усреднённое по времени) течение жидкости, индуцированное силами акустического излучения и вязкими эффектами в ультразвуковом поле.

образцам (в типовых конфигурациях), удобством интеграции температурного контроля, возможностью одновременной обработки больших объемов и, как правило, более высокой воспроизводимостью при серийной нагрузке [18, 38].

В последние годы ванным системам уделяется повышенное внимание в контексте масштабирования процессов и оптимизации кавитационных характеристик [6, 12]. В системах МЧУ многочастотность реализуется, как правило, посредством пространственного размещения нескольких преобразователей, каждый из которых работает на собственной частоте, в пределах одного реактора. Такая конструкция позволяет отдельно регулировать параметры каждой частотной компоненты (мощность, фазовые/временные режимы, длительность воздействия) и подбирать конфигурацию под заданную задачу [6]. Например, в многоугольных (в т.ч. восьмиугольных) реакторах преобразователи на разных частотах (например, 20 и 40 кГц) могут размещаться на днище и на несмежных боковых стенках для улучшения пространственного распределения поля [6, 31]. На практике применяются различные схемы монтажа: на противоположных стенках, на смежных стенках, в виде кластера на одной поверхности либо комбинированные решения — выбор определяется геометрией реактора, целевыми частотными комбинациями и требуемой однородностью поля. Расположение преобразователей является критически важным параметром, так как оно влияет на интерференционную картину, долю отражений и степень формирования стоячих волн. Показано, что как расстояние между преобразователями, так и топология размещения определяют равномерность распределения акустической энергии. В частности, линейные и прямоугольные конфигурации в ряде случаев обеспечивают более однородное поле по сравнению с круговыми/кольцевыми схемами, поскольку в меньшей степени поддерживают устойчивые стоячие структуры и способствуют более равномерному перераспределению энергии [12, 38]. В установках промышленного масштаба преобразователи могут располагаться последовательно вдоль технологической линии (например, по ходу транспортера) либо устанавливаться на днище/стенках резервуаров, что позволяет увеличивать площадь излучения и обеспечивать масштабируемость процесса. С точки зрения режима возбуждения различают последовательный и одновременный многочастотные режимы. В последовательном режиме частоты F_a и F_b подаются поочередно в соответствии с заданной временной программой; формы сигналов при этом сохраняют характер отдельных синусоидальных воздействий. В одновременном режиме частоты подаются в одно время (условно $F_a + F_b$), формируя результирующий сигнал с амплитудной модуляцией (биениями), что приводит к более сложной временной структуре давления в среде. Синергия частот в одновременном режиме

расширяет эффективный спектр и может усиливать энергетическую связь «излучатель-среда», создавая физические предпосылки для интенсификации кавитационных эффектов [18, 39]. Преимущества многочастотных комбинаций также выявляются при анализе характеристик акустического поля. Экспериментальная оценка распределения акустических параметров показывает, что для отдельных частот (например, 20, 28 и 40 кГц) пространственная структура поля обычно проще, тогда как двухчастотные и трехчастотные режимы существенно усложняют картину и могут повышать равномерность распределения энергии [39–41]. Наблюдаемое согласуется с механизмом частотной интерференции, приводящей к ослаблению стоячих волн и перераспределению акустической энергии по объему. Для качественной оценки кавитационной активности часто применяют тест эрозии алюминиевой фольги, позволяющий визуализировать зоны интенсивного воздействия: многочастотные режимы, как правило, формируют более плотную и равномерно распределенную картину эрозионных пятен по сравнению с одночастотным воздействием [42]. Однако метод ограничен воспроизводимостью и не обеспечивает строгой количественной метрики интенсивности кавитации [43].

В связи с этим представляется целесообразным расширение инструментальной базы исследований МЧУ за счет более строгих методов, включая: гидрофонные измерения — для картирования акустического давления и количественной оценки равномерности поля [44]; калориметрию — для определения рассеиваемой акустической мощности через тепловой баланс жидкости [42]; сонохимическую дозиметрию (например, KI или TA) — для количественной оценки выхода радикалов как индикатора интенсивности переходной кавитации [45]. Комплексирование количественных методов (гидрофон/калориметрия/дозиметрия) с визуальными подходами (фольговая эрозия) позволяет более полно и доказательно описывать усиленные и более однородные кавитационные поля, формируемые МЧУ, и тем самым обосновывать связь между параметрами оборудования, характеристиками поля и технологическими эффектами в пищевых системах.

2. Механизмы действия и применение МЧУ в технологических процессах пищевой промышленности

Эффективность многочастотного мощного ультразвука (МЧУ) достигается за счет совокупности кавитационно-механических воздействий, акустического течения и повышения однородности акустического поля при сочетании частот. В пищевых системах это проявляется в интенсификации массопереноса, модификации структуры биополимерных матриц, влиянии на фазовые переходы и снижении микробной обсемененности. Конкретный результат определяется сочетанием частот, режимом подачи (одновременным или

Таблица 2. Механизмы воздействия МЧУ в технологических процессах пищевой промышленности

Table 2. Mechanisms of action of MCH in technological processes of the food industry

Технологический процесс	Цель использования (механизмы воздействия)	Основные параметры обработки	Результат воздействия МЧУ
Ферментативный гидролиз белка	а) изменения фермента; б) повышение доступности субстрата; в) усиление контакта «фермент–субстрат»	частоты/режим; мощность; время; температура; pH/ионная сила	рост скорости/степени гидролиза при сохранении активности (в оптимальном окне)
Сушка	а) микропоры («губчатый эффект»); б) ускорение переноса влаги; в) более равномерное поле	частоты; мощность; импульсность; температура/аэродинамика; толщина слоя	сокращение времени, более равномерная влажность
Маринование	а) микроканалы; б) ускорение диффузии и акустическое течение; в) перестройка белков/миофибрилл	частоты; мощность; время; температура; состав рассола	ускорение и выравнивание просаливания, изменения водосвязывания/текстуры
Замораживание	а) интенсификация нуклеации; б) фрагментация кристаллов; в) улучшение теплообмена	частоты; мощность/режим; скорость замораживания	более мелкие/однородные кристаллы, меньше повреждение тканей
Размораживание	а) усиление теплоотдачи на границе лед–вода; б) конвекция талой воды	частоты; мощность; температура среды; геометрия продукта	сокращение времени, снижение неоднородности, лучшее качество
Экстракция	а) разрушение клеточных стенок; б) улучшение проникновения растворителя; в) более однородное поле	частоты; мощность; время; температура; растворитель; размер частиц	рост выхода и сокращение времени
Очистка/стерилизация	а) удаление загрязнений; б) равномерная кавитация; в) повреждение клеток/усиление дезсредств	частоты; мощность; время; температура; состав среды	эффективнее очистка и снижение контаминации

последовательным), уровнем мощности, временем обработки и свойствами среды. Сводка основных механизмов воздействия МЧУ в технологических процессах пищевой промышленности представлена в таблице 2.

2.1. Ферментативный гидролиз белка

В ферментативных системах МЧУ действует на трех уровнях: а) на фермент, б) на белковый субстрат, в) на перенос и кинетику реакции. Кавитационно-механические факторы способны вызывать конформационные изменения ферментов, изменяя доступность активных центров и, как следствие, каталитическую эффективность [18, 46]. При умеренных режимах возможно повышение активности за счет частичного разворачивания и улучшения микроокружения активных участков, тогда как избыточное воздействие приводит к денатурации и инактивации, что подчеркивает необходимость оптимизации параметров. На уровне субстрата МЧУ повышает площадь доступной поверхности и облегчает доступ фермента к сайтам расщепления за счет изменения морфологии белковых агрегатов [18, 46, 47]. На уровне процесса ускорение микроперемешивания и снижение диффузионных ограничений увеличивают частоту эффективных взаимодействий «фермент–субстрат», что может проявляться в росте скорости реакции и снижении кажущихся энергетических барьеров [18, 48]. Использование МЧУ в гидролизе белка направлено на управляемое усиление катализа за счет воздействия на фермент, субстрат и массоперенос. Эффект зависит от типа фермента и матрицы, а также от частотного режима и интенсивности воздействия; при превышении «оптимального окна» возможны денатурация фермента и ухудшение качества гидролизата [6, 18]. МЧУ рассматривают как инструмент более тонкой настройки за счет синергии частот. В гидролизе подсолнечного белка двухчастотная обработка (28/40

кГц) повышала активность протеазы и ассоциировалась с улучшением антиоксидантных характеристик гидролизатов [49]. Для рисового белка последовательный трехчастотный режим (20/35/50 кГц) обеспечивал более высокую ингибирующую активность АПФ по сравнению с контролем [50]. При гидролизе кукурузной глютенной муки многочастотная предварительная обработка снижала кажущуюся константу Михаэлиса и повышала константу скорости, что трактуют как усиление сродства фермента к субстрату [18]. С практической точки зрения оптимизация должна учитывать: а) тип фермента и его устойчивость к кавитационно-механическому воздействию; б) последовательность/одновременность частот; в) контроль температуры и времени, чтобы удерживать процесс в области положительного эффекта. Воздействие МЧУ на субстрат проявляется на уровнях от морфологии частиц до молекулярной конформации белка, что меняет доступность ферментативных сайтов и скорость гидролиза. Для рисового белка трехчастотная обработка (22/28/40 кГц) приводила к перестройке вторичной структуры [18, 51]. Для белков кукурузного происхождения с использованием АСМ показано, что МЧУ способна существенно менять микроморфологию и механические свойства частиц; для зеина отмечали снижение модуля Юнга и жесткости при одновременном росте адгезии, что интерпретируют как повышение «гибкости» и потенциально лучшую ферментативную доступность [18].

В сравнительных режимах подчеркивается частотная зависимость: например, последовательный двухчастотный ультразвук (20/40 кГц) повышал относительную эффективность гидролиза, растворимость белка и долю гидрофобных аминокислот; микроструктурно фиксировали разрыхление и пористость частиц, увеличивающие площадь контакта и доступ фермента [18, 51].

На уровне процесса МЧУ одновременно: а) усиливает микроперемешивание и контакт «фермент–субстрат»; б) снижает диффузионные ограничения, особенно в вязких/концентрированных системах; в) позволяет управлять кинетическими параметрами за счет выбора частотного режима. Показательный пример оптимизации: для двухчастотного режима (50/28 кГц) выделяли оптимальные значения плотности мощности и температуры, обеспечивающие синергетический рост степени гидролиза и скорости превращения [38]. Отдельный практический мотив — управление функциональностью гидролизатов. Для высококонцентрированной перьевой муки двухчастотный ультразвук (28/80 кГц) повышал извлечение белка и конверсию, что связывают с ослаблением ограничений массопереноса [18, 52]. Трехчастотная обработка гидролизатов семян шелковицы повышала антиоксидантные показатели и демонстрировала биологическую активность в клеточных тестах, что обсуждают как следствие формирования специфического пептидного профиля при МЧУ [53]. В целом многочастотные режимы чаще дают выигрыш по управляемости и воспроизводимости, однако требуют строгого подбора интенсивности и теплоотвода.

2.2. Сушка

В ультразвуково-интенсифицированной сушке решающим механизмом является «губчатый эффект»: циклическая деформация тканей под действием кавитации способствует формированию микропор и каналов, повышающих эффективную проницаемость продукта и ускоряющих миграцию влаги [18, 54]. Дополнительно акустическое течение уменьшает внешние диффузионные сопротивления и повышает перенос влаги в пограничном слое. Многочастотный режим способствует более равномерному распределению энергии в объеме и снижает выраженность стоячих волн, повышая воспроизводимость и однородность обработки [55, 56]. Частотные комбинации могут усиливать межфазную кавитацию и улучшать перенос влаги без грубого разрушения ткани при корректно выбранных режимах [57, 58]. Оптимизация МЧУ при сушке сводится к согласованию трех факторов: а) формирования микропористости/каналов переноса (предобработка); б) интенсификации массопереноса во время сушки; в) сохранения качества (структура, цвет, биоактивные компоненты). В работах подчеркивается, что эффективность зависит от состава продукта, исходной влажности и клеточной структуры [59]. В качестве типовых решений описаны двух- и трехчастотные предобработки. Так, двухчастотный режим 40/80 кГц формировал микропористую сеть в тканях клубники и повышал эффективность лиофилизации [60]. Трехчастотная обработка (20/40/60 кГц) для ананаса позволяла дополнительно сбалансировать развитие каналов переноса и сохранность ткани, сокращая время сушки при сохранении качества [59]. Для

осмотической дегидратации двухчастотная обработка (40/80 кГц) увеличивала извлечение сухих веществ по сравнению с одночастотной [61]. В прикладной части важно разделять: а) эффекты, обусловленные микроструктурной перестройкой (предобработка), и б) эффекты текущего массопереноса (собственно сушка), поскольку оптимальные частоты/мощности для этих стадий могут различаться. Отмечаются и преимущества по энергоэффективности при корректной настройке режимов [62].

2.3. Маринование

МЧУ ускоряет маринование за счет интенсификации диффузии растворов при одновременном изменении микроструктуры мышечной ткани. Низкие частоты обеспечивают выраженное механическое воздействие и образование микроканалов, тогда как высокие частоты формируют более мелкие кавитационные структуры и усиливают микровозмущения вблизи границ раздела, что в сочетании повышает эффективность массопереноса [63]. На уровне акустического поля сочетание частот расширяет зоны кавитации и может снижать порог ее возникновения [64], а также усиливать резонансные проявления в системе [65]. На уровне переноса микроструи и акустическое течение уменьшают сопротивление пограничного слоя и ускоряют проникновение NaCl [66]. На уровне структуры возможны изменения миофибриллярной организации и конформации белков, что влияет на водосвязывающую способность и текстурные характеристики [67]. Для свинины одно-временный трехчастотный режим (20/40/60 кГц) повышал скорость проникновения соли и улучшал функциональные свойства [68]; близкие выводы получены при оценке интенсивности порядка 101,3 Вт/л и времени 30 мин, где фиксировали рост содержания NaCl и улучшение текстуры/влагоудержания [69]. Показана применимость подхода и для яичных продуктов [70], что связывают с ростом проницаемости барьерных структур. Отдельное направление исследований посвящено подбору одной оптимальной частоты в диапазоне десятков кГц. Например, частота 26,8 кГц демонстрировала выраженный эффект на массоперенос NaCl, а дальнейшая оптимизация связывалась с улучшением нежности и влагоудержания при сохранении окислительной стабильности [71, 72]. Практически это означает, что выбор между многочастотным и оптимально подобранным одночастотным режимом должен опираться на такие критерии, как однородность обработки, масштабируемость, чувствительность продукта к механическому воздействию и допустимые изменения текстуры.

2.4. Замораживание и размораживание

В процессах замораживания МЧУ воздействует на зарождение и рост кристаллов льда. Кавитационные пузырьки и локальные флуктуации давления могут облегчать нуклеацию, а многочастотность обеспечивает вовлечение пузырьков

разных размеров и более равномерное распределение центров зародышеобразования [17, 19]. На стадии роста кристаллов акустическое течение интенсифицирует тепломассоперенос [73], а микроструи и ударные волны способны фрагментировать кристаллы и запускать вторичную нуклеацию [74]. В результате формируются более мелкие и однородные кристаллы, что снижает структурные повреждения тканей и улучшает качество продукта. При размораживании основной эффект МЧУ связан с ростом скорости теплообмена и ускорением таяния льда. Кавитационное схлопывание и микроструи усиливают процессы на границе лед–вода и повышают теплоотдачу [75], а акустическое течение ускоряет конвекцию талой воды. Многочастотность позволяет сочетать более глубокое воздействие низких частот и более выраженное поверхностное влияние высоких частот, что способствует сокращению времени размораживания и снижению пространственной неоднородности процесса [76, 77]. На практике важна оптимизация мощности, которая помогает избежать тканевых повреждений и потерь качества при избыточной обработке. Для водных продуктов при оптимизированной мощности сообщают о лучшем сохранении структуры миофибриллярных белков и стабильности при длительном хранении [78, 79]. Подбор комбинаций частот рассматривается как способ снизить степень переохлаждения и обеспечить более равномерное зарождение кристаллов [80]. Для трехчастотного режима (20/28/40 кГц) описан синергетический эффект в подавлении деградации белков и окисления липидов [81], а также повышение однородности распределения кристаллов в растительных тканях [17]. Размораживание с МЧУ ориентировано на ускорение процесса при сохранении структуры и влаги. Для рыбы показано, что трехчастотный режим (20/28/40 кГц) связан с более благоприятными изменениями вторичной структуры миофибриллярных белков и улучшением текстурных характеристик [82, 83]. Также обсуждают комбинирование МЧУ с дополнительными физическими факторами, например с магнитными наночастицами, для ингибирования окисления белков [84]. В ряде работ сравнение двух- и трехчастотных режимов подтверждает, что выигрыш трехчастотных систем часто связан с более равномерной передачей энергии и меньшей неоднородностью размораживания [17, 85].

2.5. Экстракция

В экстракционных процессах МЧУ повышает выход целевых соединений главным образом за счет кавитационно-индуцированного разрушения клеточных стенок, облегчения проникновения растворителя и интенсификации массопереноса. Кавитация создает микроповреждения и микроканалы в растительной ткани, увеличивая площадь контакта фаз и сокращая путь диффузии для растворимых компонентов [86]. Дополнительный вклад вносит акустическое течение, которое

уменьшает сопротивление пограничного слоя и ускоряет перенос вещества в объеме. Преимущество многочастотного режима, по сравнению с одночастотным, связывают с формированием более «разномасштабной» популяции кавитационных пузырьков и более равномерным распределением акустической энергии в реакционном объеме. В практическом плане это проявляется как рост воспроизводимости, снижение доли слабообработываемых зон и уменьшение риска локального перегрева, что особенно важно при извлечении термочувствительных соединений [6, 86, 87]. Эффективность МЧУ в экстракции определяется подбором частотной комбинации, мощности, времени, температуры, а также свойствами сырья (размер частиц, влажность, степень измельчения) и параметрами растворителя. Экстракция с применением МЧУ оптимизируется по двум связанным целям: а) максимизация выхода целевых компонентов; б) сохранение/управление функциональными свойствами экстракта. Описывают частотно-зависимые изменения структуры биополимеров (включая перестройку вторичных структур и изменение состояния тиол-дисульфидной системы), которые могут влиять на реологию, эмульгирующие свойства и биологическую активность [6, 88, 89]. Для трехчастотных режимов подчеркивается роль выравнивания акустического поля и ослабления стоячих волн как фактора воспроизводимости [6, 90, 91]. При этом возможен компромисс «выход–биоактивность»: рост извлечения не всегда означает рост антиоксидантной активности, поэтому оптимизация должна включать целевые критерии качества, а не только выход [6, 91, 92].

2.6. Очистка и стерилизация

Ультразвуковая очистка основана на кавитации и связанных с ней микроструях и ударных волнах, которые механически удаляют загрязнения и разрушают слабосвязанные адсорбционные слои, а также усиливают перенос в пристенном слое жидкости [93]. Для моечных операций в пищевой промышленности критичны равномерность обработки и отсутствие «слепых зон»; многочастотность способствует более однородному акустическому полю и более равномерному распределению кавитации в объеме ванны, что повышает воспроизводимость очистки на объектах сложной формы [94]. С практической точки зрения сочетание частот позволяет объединить выраженный механический «срыв» загрязнений (характерный для низких частот) и более тонкое воздействие в микронеровностях и узких зазорах (более типичное для высоких частот), повышая полноту очистки [95]. В отношении микробной контаминации МЧУ рассматривается как фактор, способный усиливать инактивацию микроорганизмов за счет механического повреждения клеточных оболочек, повышения проницаемости мембран и интенсификации переноса активных компонентов при комбинированных режимах (например, с моющими или

дезинфицирующими растворами). Низкочастотная кавитация, как правило, обеспечивает более грубое механическое воздействие (деформация, разрыв мембран, утечка внутриклеточного содержимого), тогда как высокочастотные компоненты формируют более мелкие пузырьки и микровозмущения, потенциально повышая эффективность воздействия вблизи поверхности и в микрорельефе [96]. Итоговый эффект определяется не только параметрами ультразвука, но и составом среды, температурой, газонасыщением, гидродинамикой и типом контаминанта/микрофлоры.

Отдельного внимания заслуживают бактериальные споры как наиболее устойчивые формы. Данные о физиологии спор показывают, что даже в «спящем» состоянии они способны интегрировать внешние сигналы и регулировать решения о прорастании через ионные механизмы [97, 98]. На этой основе можно сформулировать осторожную гипотезу о том, что акустические колебания, включая многочастотные режимы, потенциально могут изменять ионный баланс и повышать вероятность перехода части спор к прорастанию, что теоретически снижает их устойчивость к последующим воздействиям. Однако такой механизм на данный момент следует рассматривать как концептуальный: требуются прямые экспериментальные подтверждения с регистрацией маркеров прорастания (в том числе высвобождение $DPA-C_a^{2+}$ изменение проницаемости оболочек, гидролиз кортекса) и сопоставлением режимов МЧУ с контролями [98]. Комбинирование ультразвука с дезинфектантами повышает эффективность за счет усиления смачивания, удаления загрязнений и разрушения микробных структур, что может позволять снижать дозы реагентов [95]. Для двухчастотного режима ($20 \pm 2/28 \pm 2$ кГц) показано снижение микробной обсемененности на поверхности овощного сырья и увеличение срока хранения, что связывают с усилением кавитации и улучшением контакта раствора с поверхностью [99]. Для нарезанных овощей сравнительные исследования частот демонстрируют, что подбор частотного режима влияет на баланс между микробиологическим эффектом и сохранением качества [100–102]. Термосоникация в многочастотном формате рассматривается как управляемая технология, в которой эффект достигается совместным влиянием температуры, кавитации и свойств среды (газонасыщение, pH, состав матрицы), определяющих пороги и режимы кавитации [99]. Показаны примеры селективной инактивации ферментов при сохранении ценных компонентов, например, полифенолоксидазы, при сохранении антоцианов в соках при конкретно подобранных параметрах [94]. Для инактивации устойчивых микроорганизмов установлена эффективность сочетаний ультразвука с мягким нагревом [103], а обсуждаемый механизм связывают с локальными экстремальными условиями при схлопывании пузырьков, обеспечивающими

микробиологический эффект при сравнительно мягком общем тепловом режиме [104]. Как итог данного раздела, обобщение применения МЧУ в ключевых технологических операциях показал, что эффект определяется сочетанием частотного режима, интенсивности и свойств пищевой матрицы. Однако перенос лабораторных результатов в промышленность требует решения инженерных задач, связанных с распределением акустической энергии, стабильностью режимов и ресурсом оборудования.

3. Проблемы и перспективы использования МЧУ

Использование многочастотного ультразвука (МЧУ) в пищевых технологиях рассматривается как способ интенсифицировать массообмен, модифицировать структуру сырья и повысить эффективность ряда операций (экстракция, маринование, ферментативные процессы, очистка и др.).

Вместе с тем, практическая результативность МЧУ часто определяется не только фактом применения ультразвука, но и воспроизводимостью акустического воздействия, корректностью выбора частотных сочетаний и управляемостью режима в реальной пищевой матрице.

1. Главная методологическая проблема состоит в том, что нет полного понимания того, как именно комбинации частот (одновременные или последовательные) влияют на кавитацию, микропотоки и, как следствие, на перенос веществ и изменение структуры пищевого объекта. Для многих систем не хватает моделей, которые связывали бы параметры режима (частоты, амплитуда, скважность, время воздействия) с измеряемыми технологическими результатами (скорость экстракции, степень гидролиза, скорость диффузии рассола, изменение текстуры и т.д.). В результате анализа результатов исследований следует выделить отдельно проблему — вариативность терминологии и показателей эффективности. В публикациях нередко ограничиваются указанием номинальной мощности, не раскрывая ключевые условия формирования акустического поля (геометрия аппарата, расстояния до излучателя, газосодержание, температура, вязкость). Это затрудняет сопоставление результатов между исследованиями и перенос режимов на другие матрицы.

2. При переходе от лабораторных объемов к опытно-промышленным и промышленным установкам резко возрастает значение пространственной неоднородности ультразвукового воздействия. В крупных объемах возможны: зоны с недостаточной интенсивностью (снижение эффекта, «мертвые зоны»); локальные области перегрузки (перегрев, нежелательные структурные изменения); экранирование и рассеяние энергии вследствие пузырьковой фазы и неоднородности матрицы; влияние отражений и стоячих волн.

3. Для МЧУ добавляется инженерная задача согласования нескольких частот: их сочетание может улучшать равномерность воздействия,

но также усложняет прогнозирование распределения энергии и подбор режима под конкретную геометрию аппарата и реологию продукта. Пищевые системы редко являются стабильными по свойствам: в ходе обработки меняются температура, вязкость, содержание газа, дисперсность, степень гидратации, концентрация растворенных веществ. Эти изменения влияют на затухание ультразвука и интенсивность кавитации, из-за чего оптимальный режим в начале процесса может стать неэффективным (или, наоборот, слишком «жестким») на следующих стадиях. Отсюда возникает необходимость перехода от фиксированных режимов к управляемым: с корректировкой частот/интенсивности по мере изменения продукта. Для МЧУ это особенно актуально, поскольку частотная комбинация может выполнять разные функции на разных этапах (например, начальная дезагрегация/разрыхление структуры и последующая интенсификация переноса).

4. Хотя МЧУ часто рассматривают как «мягкую» технологию, в реальных системах возможны нежелательные эффекты: локальный перегрев и ускорение нежелательных реакций; изменение текстуры (чрезмерное размягчение, повреждение тканей); вариативность органолептики из-за неоднородной обработки; потенциальное влияние на чувствительные компоненты (например, окисление липидов при неблагоприятных условиях). Поэтому перспективное направление — разработка критериев «достаточности» воздействия: достижение технологического эффекта при минимально возможных побочных изменениях качества. Не менее важным является вопрос контролируемости результатов. Даже при одинаковых «паспортных» параметрах установки конечный эффект может отличаться из-за колебаний свойств сырья (партия, сезонность, степень зрелости, влажность), а также из-за различий в газосодержании и температуре среды. В связи с этим для внедрения МЧУ требуется предварительная оценка чувствительности конкретного продукта к ультразвуковому воздействию (текстура, эмульсионная стабильность, цвет, аромат); подбор режимов, исключающих локальные перегрузки (чрезмерную кавитацию и нагрев); подтверждение микробиологической безопасности и стабильности качества в течение хранения (особенно если МЧУ используется как часть «щадящей» обработки). Кроме того, следует учитывать, что МЧУ чаще выступает как интенсифицирующий фактор, а не универсальная замена тепловых или химических методов. Поэтому корректнее рассматривать его в составе комбинированных технологий, где безопасность обеспечивается суммарным эффектом факторов.

5. Анализ результатов исследований показал также, что значительным ограничением для практического внедрения остается недостаток единообразия в описании режимов. Во многих работах авторы указывают мощность генератора, но не приводят при этом: фактическую интенсивность

в рабочей зоне, конфигурацию излучателя и объем/геометрию реактора, температурный режим и теплоотвод, характеристику среды (вязкость, содержание жира/твердых частиц, газонасыщенность). В результате примерно одинаковые режимы приводят к разным эффектам, а перенос методик между лабораториями и на производство становится затрудненным.

Несмотря на перечисленные ограничения, МЧУ остается перспективным направлением благодаря возможности точнее настраивать воздействие на продукт за счет частотных комбинаций.

Наиболее значимые перспективы можно сгруппировать следующим образом.

1. *Развитие моделей и цифрового проектирования процессов.* Перспективны многофизические модели, связывающие акустическое поле, кавитацию, тепло- и массообмен, а также изменение структуры продукта. Это позволит не подбирать режимы исключительно эмпирически, а рассчитывать их под конкретную матрицу и аппарат.

2. *Адаптивное управление режимом (умные системы контроля).* Для повышения воспроизводимости целесообразны системы, которые в реальном времени корректируют параметры воздействия при изменении свойств продукта. Практически это может означать автоматическую настройку интенсивности и частотного сочетания по сигналам температуры, вязкости/проводимости, акустической обратной связи или косвенных технологических индикаторов.

3. *Комбинированные технологии.* Наиболее перспективный путь промышленного внедрения — интеграция МЧУ с другими методами: мягким нагревом, ферментативной обработкой, высоким давлением, вакуумированием/дегазацией, мембранными процессами. В таких схемах МЧУ может сокращать длительность операций и повышать выход целевых компонентов при сохранении качества.

4. *Конструктивные решения для равномерности обработки.* Перспективны реакторы и модули, обеспечивающие однородность поля: мультиизлучатели, проточные конфигурации, оптимизация отражающих поверхностей, управление стоячими волнами. Для МЧУ это особенно важно, поскольку цель часто состоит в более равномерном и «мягком» воздействии на объем продукта.

5. *Оценка влияния на качество и экономика процесса.* Для выхода за рамки лабораторных экспериментов требуется накопление данных по влиянию МЧУ на органолептику, стабильность при хранении и общую себестоимость: энергозатраты, ресурс оборудования, санитарное обслуживание, интеграция в линию.

Выводы/Conclusion

В процессе анализа результатов научных исследований систематизированы механизмы действия и основные направления применения многочастотного высокоинтенсивного ультразвука в

пищевой промышленности. Установлено, что использование комбинаций частот по сравнению с одночастотными режимами расширяет возможности управления ультразвуковым воздействием за счет изменения характера кавитации, микропотоков и массообмена, что потенциально снижает выраженность неоднородности обработки и повышает воспроизводимость технологической эффективности. Обобщение результатов исследований демонстрирует перспективность МЧУ для интенсификации ферментативного гидролиза белков, экстракции и маринования, а также для оптимизации процессов сушки и замораживания–размораживания.

В целях очистки и санитарной обработки ультразвуком чаще всего наиболее эффективен в составе комбинированных технологий, где требуемый уровень безопасности и качества обеспечивается суммарным действием факторов.

Вместе с тем широкое внедрение МЧУ сдерживается рядом ограничений: сложностями масштабирования и обеспечением равномерности

акустического поля в промышленных объемах, изменчивостью свойств пищевых матриц в ходе обработки, недостаточной стандартизацией и сопоставимостью режимов в публикациях, а также рисками локального перегрева и нежелательных изменений структуры и органолептических характеристик продукта.

Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на: 1. углубление механистического понимания частотных взаимодействий и разработку предсказательных моделей связи «параметры поля — технологический эффект»; 2. создание и валидацию инженерных решений, обеспечивающих равномерность воздействия и устойчивое масштабирование; 3. развитие методов адаптивного управления режимами с учетом динамики свойств продукта и требований к качеству; 4. обоснование рациональных комбинированных схем применения МЧУ/ВЧУ (в том числе для очистки и обеззараживания) с оценкой эффективности, энергозатрат и влияния на качество и безопасность продукции.

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

- Chernopolskaya N. *et al.* Biotechnology of specialized fermented product for elderly nutrition. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 545–550. EDN JQFIOT
- Gavrilova N. *et al.* Advanced Biotechnology of Specialized Fermented Milk Products. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019; 8(2): 2718–2722. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B3158.078219>
- Блинов А.В., Самоволов А.В., Аскерова А.С., Нагдалян А.А., Серов А.М., Ребезов М.Б. Исследование влияния хелатного железосодержащего комплекса на качество кисломолочных продуктов. *Аграрная наука*. 2025; (4): 159–166. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-159-166>
- Запц М.С., Нестеренко А.А., Ребезов М.Б. Использование «барьерных» показателей качества при производстве сырокопченых колбасных изделий. *Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 35-летию со дня образования общероссийской общественной организации «Российская инженерная академия»*. Краснодар: КубГАУ. 2025; 38–41. EDN CWQIMK
- Rebezov M. *et al.* Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries. *Applied Sciences*. 2022; 12(1): 319. <https://doi.org/10.3390/app12010319>
- Бурак Л.Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодовоовощного сырья и соковой продукции. М.: ИНФРА-М. 2025; 235. ISBN 978-5-16-020036-1 EDN: EQDBKL
- Osae R. *et al.* Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(6): 2585–2599. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10284>
- Capozzi F. *et al.* A Multidisciplinary Perspective of Ultra-Processed Foods and Associated Food Processing Technologies: A View of the Sustainable Road Ahead. *Nutrients*. 2021; 13(11): 3948. <https://doi.org/10.3390/nu13113948>
- Chughtai M.F.J. *et al.* Role of Pascalization in Milk Processing and Preservation: A Potential Alternative towards Sustainable Food Processing. *Photonics*. 2021; 8(11): 498. <https://doi.org/10.3390/photonics8110498>
- Ржепаковский И.В. и др. Влияние различных методов сушки на некоторые физико-химические свойства и антиоксидантную активность гидролизата белков куриного эмбриона. *Аграрная наука*. 2025; (10): 182–190. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-182-190>
- Ashraf M.A. *et al.* Innovative technologies in postharvest management of fruits and vegetables: a review. *European Food Research and Technology*. 2025; 251(11): 3445–3463. <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04861-4>
- Бурак Л.Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля. *Ползуновский вестник*. 2024; (1): 99–119. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>
- Prokhasko L. *et al.* Mathematical model of a hydrodynamic cavitation device used for treatment of food materials. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; 13(24): 9766–9773. EDN YRZMAH
- Прохаско Л.С., Ребезов М.Б., Асенова Б.К., Зинина О.В., Залилов Р.В., Ярмаркин Д.А. Применение гидродинамических кавитационных устройств для дезинтеграции пищевых сред. *Сборник научных трудов SWorld*. 2013; 7(2): 62–67. EDN QLWSEX
- Kenari R.E., Dehghan B., Rebezov M., Luneva A., Shariati M.A. Optimization of Pulsed Electric Field-Assisted Oil Extraction from Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seeds Using Response Surface Methodology. *Food Analytical Methods*. 2026; 19(1): 50. <https://doi.org/10.1007/s12161-025-02932-6>

REFERENCES

- Chernopolskaya N. *et al.* Biotechnology of specialized fermented product for elderly nutrition. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 545–550. EDN JQFIOT
- Gavrilova N. *et al.* Advanced Biotechnology of Specialized Fermented Milk Products. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019; 8(2): 2718–2722. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B3158.078219>
- Blinov A.V., Samovolov A.V., Askerova A.S., Nagdalyan A.A., Serov A.M., Rebezov M.B. The influence of chelated iron-containing complex on the quality of fermented milk products. *Agrarian science*. 2025; (4): 159–166 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-159-166>
- Zayats M.S., Nesterenko A.A., Rebezov M.B. Use of “barrier” quality indicators in the production of dry-cured sausages. *Modern aspects of production and processing of agricultural products. Collection of articles based on the materials of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the 35th anniversary of the founding of the All-Russian public organization “Russian Engineering Academy”*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University. 2025; 38–41 (in Russian). EDN CWQIMK
- Rebezov M. *et al.* Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries. *Applied Sciences*. 2022; 12(1): 319. <https://doi.org/10.3390/app12010319>
- Burak L. The influence of modern methods of processing and sterilization on the quality of fruit and vegetable raw materials and juice products. Moscow: INFRA-M. 2025; 235 (in Russian). ISBN 978-5-16-020036-1 EDN: EQDBKL
- Osae R. *et al.* Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(6): 2585–2599. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10284>
- Capozzi F. *et al.* A Multidisciplinary Perspective of Ultra-Processed Foods and Associated Food Processing Technologies: A View of the Sustainable Road Ahead. *Nutrients*. 2021; 13(11): 3948. <https://doi.org/10.3390/nu13113948>
- Chughtai M.F.J. *et al.* Role of Pascalization in Milk Processing and Preservation: A Potential Alternative towards Sustainable Food Processing. *Photonics*. 2021; 8(11): 498. <https://doi.org/10.3390/photonics8110498>
- Rzhepakovsky I.V. *et al.* Effect of different drying methods on some physicochemical properties and antioxidant activity of chicken embryo protein hydrolysate. *Agrarian science*. 2025; (10): 182–190 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-182-190>
- Ashraf M.A. *et al.* Innovative technologies in postharvest management of fruits and vegetables: a review. *European Food Research and Technology*. 2025; 251(11): 3445–3463. <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04861-4>
- Burak L.Ch. Use of modern processing technologies to increase the storage life of fruit and vegetables. review of the subject field. *Polzunovskiy Vestnik*. 2024; (1): 99–119 (in Russian). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>
- Prokhasko L. *et al.* Mathematical model of a hydrodynamic cavitation device used for treatment of food materials. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; 13(24): 9766–9773. EDN YRZMAH
- Prokhas'ko L.S., Rebezov M.B., Asenova B.K., Zinina O.V., Zalilov R.V., Yarmarkin D.A. Use of hydrodynamic cavitation devices for disintegration of food media. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. 2013; 7(2): 62–67 (in Russian). EDN QLWSEX
- Kenari R.E., Dehghan B., Rebezov M., Luneva A., Shariati M.A. Optimization of Pulsed Electric Field-Assisted Oil Extraction from Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seeds Using Response Surface Methodology. *Food Analytical Methods*. 2026; 19(1): 50. <https://doi.org/10.1007/s12161-025-02932-6>

16. Ong V.Z., Wu T.Y. An application of ultrasonication in lignocellulosic biomass valorisation into bio-energy and bio-based products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 132: 109924. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109924>
17. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н., Писарик М.И. Влияние ультразвука на процесс замораживания и качество замороженных фруктов и овощей. *Вестник Международной академии холода*. 2024; (1): 71–78. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2024-23-1-71-78>
18. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Влияние действия ультразвука на функциональные свойства растительных белков. Обзор предметного поля. *Химия растительного сырья*. 2024; (4): 5–23. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240413599>
19. Бурак Л.Ч., Завалей А.П. Эффективность комбинированного воздействия ультразвука и микроволн при обработке пищевых продуктов. Обзор. *Техника и технология пищевых производств*. 2024; 54(2): 342–357. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2510>
20. Soria A.C., Villamiel M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 2010; 21(7): 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>
21. Wang Y. *et al.* Improvement in enzymolysis efficiency and changes in conformational attributes of corn gluten meal by dual-frequency slit ultrasonication action. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 64: 105038. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105038>
22. Xu B. *et al.* Multi-Frequency Power Ultrasound: A Versatile Tool for Advancing Food Processing—Applications, Underlying Mechanisms, and Future Prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2026; 25(1): e70389. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70389>
23. Guédra M., Insera C., Gilles B. Accompanying the frequency shift of the nonlinear resonance of a gas bubble using a dual-frequency excitation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 38: 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.03.028>
24. Ye L., Zhu X., Liu Y. Numerical study on dual-frequency ultrasonic enhancing cavitation effect based on bubble dynamic evolution. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019; 59: 104744. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104744>
25. Yu H., Mei J., Xie J. New ultrasonic assisted technology of freezing, cooling and thawing in solid food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 90: 106185. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106185>
26. Li C. *et al.* A review on ultrasound-enhanced heat transfer. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025; 121: 107570. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107570>
27. Zhang D. *et al.* Investigation on the heat transfer performance of microchannel with combined ultrasonic and passive structure. *Applied Thermal Engineering*. 2023; 233: 121076. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121076>
28. Sajjadi B., Asgharzadehahmadi S., Asaithambi P., Raman A.A.A., Parthasarathy R. Investigation of mass transfer intensification under power ultrasound irradiation using 3D computational simulation: A comparative analysis. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 34: 504–518. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.026>
29. Promda N., Ayuwat K., Sawada T., Rakpakdee W., Khaothong K., Chaiworapuek W. Heat transfer enhancement of water flow over a heating flat plate using 20 kHz ultrasonic waves irradiated from submerged horn-type transducer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2024; 224: 125328. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125328>
30. Bulliard-Sauret O. *et al.* Heat transfer intensification by low or high frequency ultrasound: Thermal and hydrodynamic phenomenological analysis. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2019; 104: 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.exptthermfluisci.2019.03.003>
31. Shi Z., Wang Z., Yang B., Liu L. Insights into cavitation enhancement: Numerical simulation and spectrum analysis of a novel dual-frequency octagonal ultrasonic reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025; 112: 107197. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107197>
32. Chemat F., Rombaut N., Sicaire A.-G., Meullemiestre A., Fabiano-Tixier A.-S., Abert-Vian M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 34: 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
33. Lian H. *et al.* Effects of simultaneous dual-frequency divergent ultrasound-assisted extraction on the structure, thermal and antioxidant properties of protein from *Chlorella pyrenoidosa*. *Algal Research*. 2021; 56: 102294. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102294>
34. Cao Q., Du H. High-intensity ultrasound treatment of shiitake mushroom protein isolate: effects on physicochemical, structural properties, and functional performance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2025; 105(6): 3463–3473. <https://doi.org/10.1002/jsfa.14110>
35. Zhao L. *et al.* Multi-frequency ultrasound-assisted cellulase extraction of protein from mulberry leaf: Kinetic, thermodynamic, and structural properties. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 99: 106554. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106554>
36. Xu B. *et al.* Application of multi-frequency power ultrasound in selected food processing using large-scale reactors: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 81: 105855. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105855>
37. Rathnakumar K. *et al.* Applications of ultrasonication on food enzyme inactivation- recent review report (2017–2022). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 96: 106407. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106407>
38. Sukor N., Jusoh R., Rahim S.A., Kamarudin N. Ultrasound assisted methods for enhanced extraction of phenolic acids from *Quercus Infectoria* galls. *Materials Today: Proceedings*. 2018; 5(10-2): 21990–21999. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.07.060>
39. Shi W. *et al.* Thawing of goose meat by simultaneous dual frequency ultrasound for process efficiency: Thawing rate, quality attributes, structural characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2024; 92: 103588. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103588>
40. Han H.Y., Nan R.M.D.L., Bao W.R.H. Acoustic cavitation effect of double bubbles with mass and heat transfer near a rigid wall. *Technical Acoustics*. 2025; 44(3): 343–350 (на кит. яз.). <http://doi.org/10.16300/j.cnki.1000-3630.24052302>
41. Wang C., Lu Q., Liu Y., Huang H., Sun J. Progressive review of heat transfer enhancement technologies in 2010–2020. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023; 56: 103121. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103121>
16. Ong V.Z., Wu T.Y. An application of ultrasonication in lignocellulosic biomass valorisation into bio-energy and bio-based products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 132: 109924. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109924>
17. Burak L.Ch., Sapach A.N., Pisarik M.I. Influence of ultrasound on freezing and the quality of frozen fruits and vegetables. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2024; (1): 71–78 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2024-23-1-71-78>
18. Burak L.Ch., Sapach A.N. Influence of ultrasound on the functional properties of plant proteins. Review of the subject field. *Chemistry of plant raw material*. 2024; (4): 5–23 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240413599>
19. Burak L.Ch., Zavaley A.P. Combined Ultrasound and Microwave Food Processing: Efficiency Review. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024; 54(2): 342–357 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2510>
20. Soria A.C., Villamiel M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 2010; 21(7): 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>
21. Wang Y. *et al.* Improvement in enzymolysis efficiency and changes in conformational attributes of corn gluten meal by dual-frequency slit ultrasonication action. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 64: 105038. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105038>
22. Xu B. *et al.* Multi-Frequency Power Ultrasound: A Versatile Tool for Advancing Food Processing—Applications, Underlying Mechanisms, and Future Prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2026; 25(1): e70389. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70389>
23. Guédra M., Insera C., Gilles B. Accompanying the frequency shift of the nonlinear resonance of a gas bubble using a dual-frequency excitation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 38: 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.03.028>
24. Ye L., Zhu X., Liu Y. Numerical study on dual-frequency ultrasonic enhancing cavitation effect based on bubble dynamic evolution. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019; 59: 104744. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104744>
25. Yu H., Mei J., Xie J. New ultrasonic assisted technology of freezing, cooling and thawing in solid food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 90: 106185. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106185>
26. Li C. *et al.* A review on ultrasound-enhanced heat transfer. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025; 121: 107570. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107570>
27. Zhang D. *et al.* Investigation on the heat transfer performance of microchannel with combined ultrasonic and passive structure. *Applied Thermal Engineering*. 2023; 233: 121076. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121076>
28. Sajjadi B., Asgharzadehahmadi S., Asaithambi P., Raman A.A.A., Parthasarathy R. Investigation of mass transfer intensification under power ultrasound irradiation using 3D computational simulation: A comparative analysis. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 34: 504–518. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.026>
29. Promda N., Ayuwat K., Sawada T., Rakpakdee W., Khaothong K., Chaiworapuek W. Heat transfer enhancement of water flow over a heating flat plate using 20 kHz ultrasonic waves irradiated from submerged horn-type transducer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2024; 224: 125328. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125328>
30. Bulliard-Sauret O. *et al.* Heat transfer intensification by low or high frequency ultrasound: Thermal and hydrodynamic phenomenological analysis. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2019; 104: 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.exptthermfluisci.2019.03.003>
31. Shi Z., Wang Z., Yang B., Liu L. Insights into cavitation enhancement: Numerical simulation and spectrum analysis of a novel dual-frequency octagonal ultrasonic reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025; 112: 107197. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107197>
32. Chemat F., Rombaut N., Sicaire A.-G., Meullemiestre A., Fabiano-Tixier A.-S., Abert-Vian M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 34: 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
33. Lian H. *et al.* Effects of simultaneous dual-frequency divergent ultrasound-assisted extraction on the structure, thermal and antioxidant properties of protein from *Chlorella pyrenoidosa*. *Algal Research*. 2021; 56: 102294. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102294>
34. Cao Q., Du H. High-intensity ultrasound treatment of shiitake mushroom protein isolate: effects on physicochemical, structural properties, and functional performance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2025; 105(6): 3463–3473. <https://doi.org/10.1002/jsfa.14110>
35. Zhao L. *et al.* Multi-frequency ultrasound-assisted cellulase extraction of protein from mulberry leaf: Kinetic, thermodynamic, and structural properties. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 99: 106554. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106554>
36. Xu B. *et al.* Application of multi-frequency power ultrasound in selected food processing using large-scale reactors: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 81: 105855. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105855>
37. Rathnakumar K. *et al.* Applications of ultrasonication on food enzyme inactivation- recent review report (2017–2022). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 96: 106407. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106407>
38. Sukor N., Jusoh R., Rahim S.A., Kamarudin N. Ultrasound assisted methods for enhanced extraction of phenolic acids from *Quercus Infectoria* galls. *Materials Today: Proceedings*. 2018; 5(10-2): 21990–21999. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.07.060>
39. Shi W. *et al.* Thawing of goose meat by simultaneous dual frequency ultrasound for process efficiency: Thawing rate, quality attributes, structural characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2024; 92: 103588. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103588>
40. Han H.Y., Nan R.M.D.L., Bao W.R.H. Acoustic cavitation effect of double bubbles with mass and heat transfer near a rigid wall. *Technical Acoustics*. 2025; 44(3): 343–350 (in Chinese). <http://doi.org/10.16300/j.cnki.1000-3630.24052302>
41. Wang C., Lu Q., Liu Y., Huang H., Sun J. Progressive review of heat transfer enhancement technologies in 2010–2020. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023; 56: 103121. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103121>

42. Xu B. *et al.* Multi-frequency power ultrasound green extraction of polyphenols from Pingyin rose: Optimization using the response surface methodology and exploration of the underlying mechanism. *LWT*. 2022; 156: 113037. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113037>
43. Wu P., Wang X., Lin W., Bai L. Acoustic characterization of cavitation intensity: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 82: 105878. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105878>
44. Harris G.R. *et al.* Hydrophone Measurements for Biomedical Ultrasound Applications: A Review. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*. 2023; 70(2): 85–100. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2022.3213185>
45. Rajamma D.B., Anandan S., Yusof N.S.M., Pollet B.G., Ashokkumar M. Sonochemical dosimetry: A comparative study of Weissler, Fricke and terephthalic acid methods. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 72: 105413. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105413>
46. Wang D. *et al.* Ultrasound promotes enzymatic reactions by acting on different targets: Enzymes, substrates and enzymatic reaction systems. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018; 119: 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.133>
47. Jin J. *et al.* Effects and mechanism of dual-frequency power ultrasound on the molecular weight distribution of corn gluten meal hydrolysates. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016; 30: 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.021>
48. Ruan S., Xiong J., Li Y., Huang S., Wang X., Ma H. Improvement in enzymolysis efficiency and bioavailability of rapeseed meal protein concentrate by sequential dual frequency ultrasound pretreatment. *Process Biochemistry*. 2021; 102: 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.01.012>
49. Dabbour M., He R., Mintah B., Ma H. Antioxidant activities of sunflower protein hydrolysates treated with dual-frequency ultrasound: Optimization study. *Journal of Food Process Engineering*. 2019; 42(5): e13084. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13084>
50. Yang X. *et al.* Effects of ultrasound pretreatment with different frequencies and working modes on the enzymolysis and the structure characterization of rice protein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 38: 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.02.026>
51. Ding Y. *et al.* Effect of innovative ultrasonic frequency excitation modes on rice protein: Enzymolysis and structure. *LWT*. 2022; 153: 112435. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112435>
52. Hong C., Zhu J.-Q., Zhao Y.-M., Ma H. Effects of dual-frequency slit ultrasound on the enzymolysis of high-concentration hydrolyzed feather meal: Biological activities and structural characteristics of hydrolysates. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 89: 106135. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106135>
53. Ji Q., Yu X., Yagoub A.E.-G.A., Chen L., Fakayode O.A., Zhou C. Synergism of sweeping frequency ultrasound and deep eutectic solvents pretreatment for fractionation of sugarcane bagasse and enhancing enzymatic hydrolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 73: 105470. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105470>
54. Zhang L. *et al.* Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*. 2020; 303: 125386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125386>
55. Zhai W., Liu H.M., Hong Z.Y., Xie W.J., Wei B. A numerical simulation of acoustic field within liquids subject to three orthogonal ultrasounds. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 34: 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.025>
56. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н., Лукин А.А. Современные методы предварительной обработки для повышения качества и пищевой ценности сухофруктов: обзор. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2025; (4): 8–42. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2025-50-4-8-42>
57. Kumar K., Srivastav S., Sharanagat V.S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 70: 105325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>
58. Nowacka M. *et al.* Metabolic and sensory evaluation of ultrasound-assisted osmo-dehydrated kiwifruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018; 50: 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.013>
59. Xu B. *et al.* Multi-frequency power ultrasound as a novel approach improves intermediate-wave infrared drying process and quality attributes of pineapple slices. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 88: 106083. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106083>
60. Xu B. *et al.* Effect of multi-mode dual-frequency ultrasound irradiation on the degradation of waxy corn starch in a gelatinized state. *Food Hydrocolloids*. 2021; 113: 106440. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106440>
61. Lin Y.-W., Yao Y.-A., Huang D.-W., Chen C.-J., Huang P.-H. Modifications on the Processing Parameters of Traditional Pineapple Slices by Stabilized Sound Pressure of Multiple Frequency Ultrasonic-Assisted Osmotic Dehydration. *Processes*. 2024; 12(6): 1109. <https://doi.org/10.3390/pr12061109>
62. Feng M. *et al.* Individual and synergistic effect of multi-frequency ultrasound and electro-infrared pretreatments on polyphenol accumulation and drying characteristics of edible roses. *Food Research International*. 2023; 163: 112120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112120>
63. Xu B. *et al.* Effect of multi-frequency power ultrasound (MFPU) treatment on enzyme hydrolysis of casein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 63: 104930. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104930>
64. Suo D., Govind B., Zhang S., Jing Y. Numerical investigation of the inertial cavitation threshold under multi-frequency ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2018; 41: 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.10.004>
65. Li B. *et al.* Recent advancements in the utilization of ultrasonic technology for the curing of processed meat products: A comprehensive review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 103: 106796. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106796>
66. Dong Y., Zhang H., Mei J., Xie J., Shao C. Advances in application of ultrasound in meat tenderization: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022; 6: 969503. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.969503>
67. Jin G. *et al.* Underlying formation mechanisms of ultrasound-assisted brined porcine meat: The role of physicochemical modification, myofiber fragmentation and histological organization. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 94: 106318. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106318>
42. Xu B. *et al.* Multi-frequency power ultrasound green extraction of polyphenols from Pingyin rose: Optimization using the response surface methodology and exploration of the underlying mechanism. *LWT*. 2022; 156: 113037. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113037>
43. Wu P., Wang X., Lin W., Bai L. Acoustic characterization of cavitation intensity: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 82: 105878. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105878>
44. Harris G.R. *et al.* Hydrophone Measurements for Biomedical Ultrasound Applications: A Review. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*. 2023; 70(2): 85–100. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2022.3213185>
45. Rajamma D.B., Anandan S., Yusof N.S.M., Pollet B.G., Ashokkumar M. Sonochemical dosimetry: A comparative study of Weissler, Fricke and terephthalic acid methods. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 72: 105413. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105413>
46. Wang D. *et al.* Ultrasound promotes enzymatic reactions by acting on different targets: Enzymes, substrates and enzymatic reaction systems. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018; 119: 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.133>
47. Jin J. *et al.* Effects and mechanism of dual-frequency power ultrasound on the molecular weight distribution of corn gluten meal hydrolysates. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016; 30: 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.021>
48. Ruan S., Xiong J., Li Y., Huang S., Wang X., Ma H. Improvement in enzymolysis efficiency and bioavailability of rapeseed meal protein concentrate by sequential dual frequency ultrasound pretreatment. *Process Biochemistry*. 2021; 102: 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.01.012>
49. Dabbour M., He R., Mintah B., Ma H. Antioxidant activities of sunflower protein hydrolysates treated with dual-frequency ultrasound: Optimization study. *Journal of Food Process Engineering*. 2019; 42(5): e13084. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13084>
50. Yang X. *et al.* Effects of ultrasound pretreatment with different frequencies and working modes on the enzymolysis and the structure characterization of rice protein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 38: 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.02.026>
51. Ding Y. *et al.* Effect of innovative ultrasonic frequency excitation modes on rice protein: Enzymolysis and structure. *LWT*. 2022; 153: 112435. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112435>
52. Hong C., Zhu J.-Q., Zhao Y.-M., Ma H. Effects of dual-frequency slit ultrasound on the enzymolysis of high-concentration hydrolyzed feather meal: Biological activities and structural characteristics of hydrolysates. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 89: 106135. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106135>
53. Ji Q., Yu X., Yagoub A.E.-G.A., Chen L., Fakayode O.A., Zhou C. Synergism of sweeping frequency ultrasound and deep eutectic solvents pretreatment for fractionation of sugarcane bagasse and enhancing enzymatic hydrolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 73: 105470. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105470>
54. Zhang L. *et al.* Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*. 2020; 303: 125386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125386>
55. Zhai W., Liu H.M., Hong Z.Y., Xie W.J., Wei B. A numerical simulation of acoustic field within liquids subject to three orthogonal ultrasounds. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017; 34: 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.025>
56. Burak L.Ch., Sapach A.N., Lukin A.A. Modern methods of pre-processing to improve the quality and nutritional value of dried fruits. a review. *Innovations and Food Safety*. 2025; (4): 8–42 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2025-50-4-8-42>
57. Kumar K., Srivastav S., Sharanagat V.S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 70: 105325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>
58. Nowacka M. *et al.* Metabolic and sensory evaluation of ultrasound-assisted osmo-dehydrated kiwifruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018; 50: 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.013>
59. Xu B. *et al.* Multi-frequency power ultrasound as a novel approach improves intermediate-wave infrared drying process and quality attributes of pineapple slices. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 88: 106083. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106083>
60. Xu B. *et al.* Effect of multi-mode dual-frequency ultrasound irradiation on the degradation of waxy corn starch in a gelatinized state. *Food Hydrocolloids*. 2021; 113: 106440. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106440>
61. Lin Y.-W., Yao Y.-A., Huang D.-W., Chen C.-J., Huang P.-H. Modifications on the Processing Parameters of Traditional Pineapple Slices by Stabilized Sound Pressure of Multiple Frequency Ultrasonic-Assisted Osmotic Dehydration. *Processes*. 2024; 12(6): 1109. <https://doi.org/10.3390/pr12061109>
62. Feng M. *et al.* Individual and synergistic effect of multi-frequency ultrasound and electro-infrared pretreatments on polyphenol accumulation and drying characteristics of edible roses. *Food Research International*. 2023; 163: 112120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112120>
63. Xu B. *et al.* Effect of multi-frequency power ultrasound (MFPU) treatment on enzyme hydrolysis of casein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 63: 104930. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104930>
64. Suo D., Govind B., Zhang S., Jing Y. Numerical investigation of the inertial cavitation threshold under multi-frequency ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2018; 41: 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.10.004>
65. Li B. *et al.* Recent advancements in the utilization of ultrasonic technology for the curing of processed meat products: A comprehensive review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 103: 106796. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106796>
66. Dong Y., Zhang H., Mei J., Xie J., Shao C. Advances in application of ultrasound in meat tenderization: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022; 6: 969503. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.969503>
67. Jin G. *et al.* Underlying formation mechanisms of ultrasound-assisted brined porcine meat: The role of physicochemical modification, myofiber fragmentation and histological organization. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 94: 106318. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106318>

68. Guo L., Xu X., Zhang X., Chen Z., He R., Ma H. Application of simultaneous ultrasonic curing on pork (*Longissimus dorsi*): Mass transport of NaCl, physical characteristics, and microstructure. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 92: 106267. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106267>
69. Zhang X., Guo L., Chen Z., Ma H. Tri-frequency simultaneous ultrasound pickling for the acceleration of the NaCl content and quality improvement of pork (*Longissimus dorsi*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024; 104(10): 6242–6251. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13448>
70. Yang X. *et al.* Enhancing the albumen viscosity and permeability of whole egg: an approach utilizing multimodal ultrasonic technology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2025; 105(12): 6666–6677. <https://doi.org/10.1002/jsfa.14387>
71. Guo L. *et al.* Evaluation of low-temperature ultrasonic marination of pork meat at various frequencies on physicochemical properties, myoglobin levels, and volatile compounds. *Meat Science*. 2024; 217: 109606. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109606>
72. Guo L., Zhang X., Guo Y., Chen Z., Ma H. Evaluation of ultrasonic-assisted pickling with different frequencies on NaCl transport, impedance properties, and microstructure in pork. *Food Chemistry*. 2024; 430: 137003. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137003>
73. Tian Y., Zhang P., Zhu Z., Sun D.-W. Development of a single/dual-frequency orthogonal ultrasound-assisted rapid freezing technique and its effects on quality attributes of frozen potatoes. *Journal of Food Engineering*. 2020; 286: 110112. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110112>
74. Fu X., Belwal T., Cravotto G., Luo Z. Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 60: 104726. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104726>
75. Qiu L., Zhang M., Chitrakar B., Bhandari B. Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effect on process efficiency and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 68: 105230. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105230>
76. Liu Y. *et al.* Ultrasound-assisted thawing of mango pulp: Effect on thawing rate, sensory, and nutritional properties. *Food Chemistry*. 2019; 286: 576–583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.059>
77. Bian C., Yu H., Yang K., Mei J., Xie J. Effects of single-, dual-, and multi-frequency ultrasound-assisted freezing on the muscle quality and myofibrillar protein structure in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Food Chemistry: X*. 2022; 15: 100362. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100362>
78. Ma X., Mei J., Qiu W., Xie J. Influence of Multi-Frequency Ultrasound-Assisted Freezing on the Freezing Rate, Physicochemical Quality and Microstructure of Cultured Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*). *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 906911. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.906911>
79. Ma X., Yang D., Qiu W., Mei J., Xie J. Influence of Multifrequency Ultrasound-Assisted Freezing on the Flavour Attributes and Myofibrillar Protein Characteristics of Cultured Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*). *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8: 779546. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.779546>
80. Zilei Z., Runfa Z., Zhenghao J., Luwen Q., Shuhong L., Yanjun L. Effect of Dual-frequency ultrasonic on subcooled water freezing. *International Journal of Refrigeration*. 2023; 154: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2023.07.006>
81. Bian C., Cheng H., Yu H., Mei J., Xie J. Effect of multi-frequency ultrasound assisted thawing on the quality of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 82: 105907. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105907>
82. Yang W., Dong Y., Ma X., Xie J., Mei J. Effects of multi-frequency ultrasound-assisted immersion freezing processing on myofibrillar protein structure and lipid oxidation of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) during long-time frozen storage. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 107: 106945. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106945>
83. Yang X., Bian C., Dong Y., Xie J., Mei J. Effects of different power multi-frequency ultrasound-assisted thawing on the quality characteristics and protein stability of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Food Chemistry: X*. 2024; 23: 101559. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101559>
84. Xu W., Bao Y., Gou H., Xu B., Hong H., Gao R. Mitigation of mechanical damage and protein deterioration in giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) by multi-frequency ultrasound-assisted immersion freezing. *Food Chemistry*. 2024; 458: 140324. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140324>
85. Cheng H., Bian C., Chu Y., Mei J., Xie J. Effects of Dual-Frequency Ultrasound-Assisted Thawing Technology on Thawing Rate, Quality Properties, and Microstructure of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Foods*. 2022; 11(2): 226. <https://doi.org/10.3390/foods1102022>
86. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Биологически активные вещества бузины: свойства, методы извлечения и сохранения. *Пищевые системы*. 2023; 6(1): 80–94. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94>
87. Sharma H., Singh A.K., Borad S., Deshwal G.K. Processing stability and debittering of *Tinospora cordifolia* (giloy) juice using ultrasonication for potential application in foods. *LWT*. 2021; 139: 110584. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110584>
88. Бурак Л.Ч., Егорова З.Е., Саманкова Н.В. Альтернативные источники белка и современные методы его извлечения: обзор предметного поля. *Sciences of Europe*. 2024; 150: 10–23. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926294>
89. Liao J., Xue H., Li J. Extraction of phenolics and anthocyanins from purple eggplant peels by multi-frequency ultrasound: Effects of different extraction factors and optimization using uniform design. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 90: 106174. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106174>
90. Бурак Л.Ч., Ермошина Т.В., Саманкова Н.В. Устойчивое производство. Концепция качества 4.0. *Фундаментальные исследования*. 2025; (9): 81–90. <https://doi.org/10.17513/fr.43905>
91. Chen Z. *et al.* Multi-frequency ultrasonic-assisted enzymatic extraction of coconut paring oil from coconut by-products: Impact on the yield, physicochemical properties, and emulsion stability. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 109: 106996. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106996>
92. Machado M. *et al.* Prebiotic potential of a coffee silverskin extract obtained by ultrasound-assisted extraction on *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*. *Journal of Functional Foods*. 2024; 120: 106378. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106378>
93. Fan K., Zhang M., Jiang F. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019; 54: 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.003>
68. Guo L., Xu X., Zhang X., Chen Z., He R., Ma H. Application of simultaneous ultrasonic curing on pork (*Longissimus dorsi*): Mass transport of NaCl, physical characteristics, and microstructure. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023; 92: 106267. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106267>
69. Zhang X., Guo L., Chen Z., Ma H. Tri-frequency simultaneous ultrasound pickling for the acceleration of the NaCl content and quality improvement of pork (*Longissimus dorsi*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024; 104(10): 6242–6251. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13448>
70. Yang X. *et al.* Enhancing the albumen viscosity and permeability of whole egg: an approach utilizing multimodal ultrasonic technology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2025; 105(12): 6666–6677. <https://doi.org/10.1002/jsfa.14387>
71. Guo L. *et al.* Evaluation of low-temperature ultrasonic marination of pork meat at various frequencies on physicochemical properties, myoglobin levels, and volatile compounds. *Meat Science*. 2024; 217: 109606. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109606>
72. Guo L., Zhang X., Guo Y., Chen Z., Ma H. Evaluation of ultrasonic-assisted pickling with different frequencies on NaCl transport, impedance properties, and microstructure in pork. *Food Chemistry*. 2024; 430: 137003. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137003>
73. Tian Y., Zhang P., Zhu Z., Sun D.-W. Development of a single/dual-frequency orthogonal ultrasound-assisted rapid freezing technique and its effects on quality attributes of frozen potatoes. *Journal of Food Engineering*. 2020; 286: 110112. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110112>
74. Fu X., Belwal T., Cravotto G., Luo Z. Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 60: 104726. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104726>
75. Qiu L., Zhang M., Chitrakar B., Bhandari B. Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effect on process efficiency and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020; 68: 105230. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105230>
76. Liu Y. *et al.* Ultrasound-assisted thawing of mango pulp: Effect on thawing rate, sensory, and nutritional properties. *Food Chemistry*. 2019; 286: 576–583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.059>
77. Bian C., Yu H., Yang K., Mei J., Xie J. Effects of single-, dual-, and multi-frequency ultrasound-assisted freezing on the muscle quality and myofibrillar protein structure in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Food Chemistry: X*. 2022; 15: 100362. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100362>
78. Ma X., Mei J., Qiu W., Xie J. Influence of Multi-Frequency Ultrasound-Assisted Freezing on the Freezing Rate, Physicochemical Quality and Microstructure of Cultured Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*). *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 906911. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.906911>
79. Ma X., Yang D., Qiu W., Mei J., Xie J. Influence of Multifrequency Ultrasound-Assisted Freezing on the Flavour Attributes and Myofibrillar Protein Characteristics of Cultured Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*). *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8: 779546. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.779546>
80. Zilei Z., Runfa Z., Zhenghao J., Luwen Q., Shuhong L., Yanjun L. Effect of Dual-frequency ultrasonic on subcooled water freezing. *International Journal of Refrigeration*. 2023; 154: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2023.07.006>
81. Bian C., Cheng H., Yu H., Mei J., Xie J. Effect of multi-frequency ultrasound assisted thawing on the quality of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 82: 105907. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105907>
82. Yang W., Dong Y., Ma X., Xie J., Mei J. Effects of multi-frequency ultrasound-assisted immersion freezing processing on myofibrillar protein structure and lipid oxidation of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) during long-time frozen storage. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 107: 106945. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106945>
83. Yang X., Bian C., Dong Y., Xie J., Mei J. Effects of different power multi-frequency ultrasound-assisted thawing on the quality characteristics and protein stability of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Food Chemistry: X*. 2024; 23: 101559. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101559>
84. Xu W., Bao Y., Gou H., Xu B., Hong H., Gao R. Mitigation of mechanical damage and protein deterioration in giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) by multi-frequency ultrasound-assisted immersion freezing. *Food Chemistry*. 2024; 458: 140324. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140324>
85. Cheng H., Bian C., Chu Y., Mei J., Xie J. Effects of Dual-Frequency Ultrasound-Assisted Thawing Technology on Thawing Rate, Quality Properties, and Microstructure of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Foods*. 2022; 11(2): 226. <https://doi.org/10.3390/foods1102022>
86. Burak L.Ch., Sapach A.N. Biologically active substances of elder: Properties, methods of extraction and preservation. *Food systems*. 2023; 6(1): 80–94 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94>
87. Sharma H., Singh A.K., Borad S., Deshwal G.K. Processing stability and debittering of *Tinospora cordifolia* (giloy) juice using ultrasonication for potential application in foods. *LWT*. 2021; 139: 110584. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110584>
88. Burak L., Yegorova Z., Samankova N. Alternative sources of protein and modern methods of their extraction: a review of the subject field. *Sciences of Europe*. 2024; 150: 10–23 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926294>
89. Liao J., Xue H., Li J. Extraction of phenolics and anthocyanins from purple eggplant peels by multi-frequency ultrasound: Effects of different extraction factors and optimization using uniform design. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 90: 106174. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106174>
90. Burak L.C., Ermoshina T.V., Samankova N.V. Sustainable production. Quality concept 4.0. *Fundamental research*. 2025; (9): 81–90 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/fr.43905>
91. Chen Z. *et al.* Multi-frequency ultrasonic-assisted enzymatic extraction of coconut paring oil from coconut by-products: Impact on the yield, physicochemical properties, and emulsion stability. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 109: 106996. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106996>
92. Machado M. *et al.* Prebiotic potential of a coffee silverskin extract obtained by ultrasound-assisted extraction on *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*. *Journal of Functional Foods*. 2024; 120: 106378. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106378>
93. Fan K., Zhang M., Jiang F. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019; 54: 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.003>

94. Feng M. *et al.* Effect of Multi-Mode Thermo-sonication on the Microbial Inhibition and Quality Retention of Strawberry Clear Juice during Storage at Varied Temperatures. *Foods*. 2022; 11(17): 2593. <https://doi.org/10.3390/foods11172593>
95. Бурак Л.Ч., Егорова З.Е., Саманкова Н.В. Обзор современных методов мойки и дезинфекции по предотвращению образования биопленки на молочных предприятиях. *The scientific heritage*. 2025; 173: 7–21. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17731447>
96. Dai J., Bai M., Li C., Cui H., Lin L. Advances in the mechanism of different antibacterial strategies based on ultrasound technique for controlling bacterial contamination in food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2020; 105: 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.016>
97. Kikuchi K. *et al.* Electrochemical potential enables dormant spores to integrate environmental signals. *Science*. 2022; 378(6615): 43–49. <https://doi.org/10.1126/science.abl7484>
98. Бурак Л.Ч. Использование методов нетермической обработки для обеспечения качества и безопасности рыбы и других гидробионтов. Обзор предметного поля. *Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета*. 2024; 27(3): 343–360. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-343-360>
99. Zhang L. *et al.* Effects of low frequency multi-mode ultrasound and it's washing solution's interface properties on freshly cut cauliflower. *Food Chemistry*. 2022; 366: 130683. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130683>
100. Бурак Л.Ч. Использование современных технологий в производстве ферментированных продуктов. *Научное обозрение. Технические науки*. 2023; (5): 5–13. <https://doi.org/10.17513/srts.1446>
101. Alenyorege E.A., Ma H., Aheto J.H., Agyekum A.A., Zhou C. Effect of sequential multi-frequency ultrasound washing processes on quality attributes and volatile compounds profiling of fresh-cut Chinese cabbage. *LWT*. 2020; 117: 108666. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108666>
102. Alenyorege E.A. *et al.* Effect of multi-frequency ultrasound surface washing treatments on *Escherichia coli* inactivation and some quality characteristics of non-heading Chinese cabbage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018; 42: e13747. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13747>
103. Wahia H. *et al.* Quality attributes optimization of orange juice subjected to multi-frequency thermo-sonication: *Alicyclobacillus acidoterrestris* spore inactivation and applied spectroscopy ROS characterization. *Food Chemistry*. 2021; 361: 130108. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130108>
104. Owusu-Ansah P., Yu X., Osae R., Mustapha A.T., Zhang R., Zhou C. Inactivation of *Bacillus cereus* from pork by thermal, non-thermal and single-frequency/multi-frequency thermo-sonication: Modelling and effects on physicochemical properties. *LWT*. 2020; 133: 109939. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109939>
94. Feng M. *et al.* Effect of Multi-Mode Thermo-sonication on the Microbial Inhibition and Quality Retention of Strawberry Clear Juice during Storage at Varied Temperatures. *Foods*. 2022; 11(17): 2593. <https://doi.org/10.3390/foods11172593>
95. Burak L., Yegorova Z., Samankova N. A review of modern cleaning and disinfection methods to prevent biofilm formation in dairy enterprises. *The scientific heritage*. 2025; 173: 7–21 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17731447>
96. Dai J., Bai M., Li C., Cui H., Lin L. Advances in the mechanism of different antibacterial strategies based on ultrasound technique for controlling bacterial contamination in food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2020; 105: 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.016>
97. Kikuchi K. *et al.* Electrochemical potential enables dormant spores to integrate environmental signals. *Science*. 2022; 378(6615): 43–49. <https://doi.org/10.1126/science.abl7484>
98. Burak L.Ch. Use of non-thermal treatment methods to ensure the quality and safety of fish and other hydrobionts. Overview of the subject field. *Vestnik of MSTU. Scientific Journal of Murmansk State Technical University*. 2024; 27(3): 343–360 (in Russian). <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-343-360>
99. Zhang L. *et al.* Effects of low frequency multi-mode ultrasound and it's washing solution's interface properties on freshly cut cauliflower. *Food Chemistry*. 2022; 366: 130683. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130683>
100. Burak L.C. Use of modern technologies in the production of fermented products. *Scientific Review. Technical science*. 2023; (5): 5–13 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/srts.1446>
101. Alenyorege E.A., Ma H., Aheto J.H., Agyekum A.A., Zhou C. Effect of sequential multi-frequency ultrasound washing processes on quality attributes and volatile compounds profiling of fresh-cut Chinese cabbage. *LWT*. 2020; 117: 108666. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108666>
102. Alenyorege E.A. *et al.* Effect of multi-frequency ultrasound surface washing treatments on *Escherichia coli* inactivation and some quality characteristics of non-heading Chinese cabbage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018; 42: e13747. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13747>
103. Wahia H. *et al.* Quality attributes optimization of orange juice subjected to multi-frequency thermo-sonication: *Alicyclobacillus acidoterrestris* spore inactivation and applied spectroscopy ROS characterization. *Food Chemistry*. 2021; 361: 130108. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130108>
104. Owusu-Ansah P., Yu X., Osae R., Mustapha A.T., Zhang R., Zhou C. Inactivation of *Bacillus cereus* from pork by thermal, non-thermal and single-frequency/multi-frequency thermo-sonication: Modelling and effects on physicochemical properties. *LWT*. 2020; 133: 109939. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109939>

ОБ АВТОРАХ

Леонид Чеславович Бурак¹

доктор философии в области пищевых наук,
кандидат технических наук
leonidburak@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Александр Анатольевич Лукин^{2,3}

кандидат технических наук, доцент
lukin3415@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4753-3210>

Ариф Нур Мухаммад Ансори^{4,5}

– PhD, научный сотрудник, Департамент аспирантуры⁴;
– PhD, адъюнкт-преподаватель, институт
фармацевтических наук⁵
ansori.anm@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1279-3904>

¹ ООО «БЕЛПРОСАКВА»,
ул. Пономаренко, 35А, Минск, 220015, Беларусь

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

³ Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет),
пр. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

⁴ Университет Эйрлангга,
PQJM+528, Мульорехо, Сурабая, Ява Тимур, 60115,
Индонезия

⁵ Uttaranchal University,
ул. Чакрата, Премнагар, Дехрадун, 248007,
Индия

ABOUT THE AUTHORS

Leonid Cheslavovich Burak¹

PhD, Candidate of Technical Sciences
leonidburak@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Aleksandr Anatolyevich Lukin^{2,3}

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
lukin3415@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4753-3210>

Arif Nur Muhammad Ansori^{4,5}

– PhD, Researcher, Postgraduate School⁴;
– PhD, Adjunct Faculty Member, Institute of Pharmaceutical
Sciences⁵
ansori.anm@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1279-3904>

¹ «BELROSAKVA» LLC,
35A Ponomarenko st., Minsk, 220015, Belarus

² South Ural State Agrarian University,
13 Gagarin st., Troitsk, Chelyabinsk region, 457100, Russia

³ South Ural State University,
76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia

⁴ Universitas Airlangga,
PQJM+528 Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur, 60115,
Indonesia

⁵ Uttaranchal University,
Chakrata Rd, Prem Nagar, Dehradun, Uttarakhand, 248007,
India

УДК 338.43

Краткое сообщение



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-126-133

В.В. Смирнова

Санкт-Петербургский Федеральный
исследовательский центр
Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

✉ smirnova_vik@mail.ru

Поступила в редакцию: 11.06.2026

Одобрена после рецензирования: 10.09.2026

Принята к публикации: 26.09.2026

© Смирнова В.В.

Анализ устойчивости и эффективности развития крупных свиноводческих предприятий в Северо-Западном федеральном округе

РЕЗЮМЕ

В Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации свиноводство развивается как высокоинтенсивная отрасль. Крупные предприятия производят 95% региональной продукции свиноводства. Кризис перепроизводства, европейские санкции и снижение государственной поддержки отрасли привели к существенному снижению эффективности производства. В 2019 г. только агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс» имел высокую рентабельность продаж — 19,2%. У остальных предприятий рентабельность была низкой, убыточными были 6 свинокомплексов. За период 2019–2025 гг. ситуация существенно изменилась: высокой рентабельности достигли предприятия, не входящие в агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс». Самый высокий показатель рентабельности — у ООО «Прибалтийская мясная компания три» — 38,7%. Средняя рентабельность продаж по крупным предприятиям составила 26,3%. Достигнуты финансовая устойчивость и независимость. Предприятия увеличивают активы за счет собственных средств. Высокая доля кредитов — у предприятий, только начавших восстановление производства или приступивших к реконструкции. Повышению эффективности предприятий способствовали следующие факторы: агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс» активно увеличивает экспорт, и его давление на региональный рынок снизилось; предприятия, в 2019–2020 гг. начавшие переход на новые технологии, успешно его завершили и закрепились на рынке; иностранные компании, инвестировавшие в свиноводство, не стали выводить свои активы в период санкций; большинство свиноводческих предприятий организовали переработку продукции. Крупные свиноводческие предприятия достигли параметров устойчивого развития, но их доля в объеме производства свинины невелика — 20%.

Ключевые слова: свиноводство, производство свинины, крупные предприятия, кредиты, финансовая устойчивость, рентабельность, эффективность производства

Для цитирования: Смирнова В.В. Анализ устойчивости и эффективности развития крупных свиноводческих предприятий в Северо-Западном федеральном округе. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 126–133.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-126-133>

Short communication



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-126-133

Viktoriia V. Smirnova

St. Petersburg Federal Research
Center of the Russian Academy of
Sciences, Saint-Petersburg, Russia

✉ smirnova_vik@mail.ru

Received by the editorial office: 11.06.2026

Accepted in revised: 10.09.2026

Accepted for publication: 26.09.2026

© Smirnova V.V.

Analysis of the sustainability and effectiveness of the development of large pig breeding enterprises in the North-Western Federal District

ABSTRACT

In the North-Western Federal District of the Russian Federation, pig breeding is developing as a highly intensive industry. Large enterprises produce 95% of the regional pig production. The crisis of overproduction, European sanctions and reduced state support for the industry have led to a significant decline in production efficiency. In 2019, only the agricultural holding Velikolukskiy Svinovodcheskiy Kompleks had a high return on sales — 19.2%. Other enterprises had low profitability, and 6 pig complexes were unprofitable. Over the period 2019–2025, the situation changed significantly: enterprises not part of the agricultural holding Velikolukskiy Svinovodcheskiy Kompleks achieved high profitability. The highest profitability indicator is at LLC Pribaltiyskaya Myasnaya Kompaniya Tri — 38.7%. The average return on sales for large enterprises was 26.3%. Financial stability and independence have been achieved. Enterprises increase assets at the expense of their own funds. A high share of loans is observed at enterprises that have just begun restoring production or have started reconstruction. The following factors contributed to improving the efficiency of enterprises: the agricultural holding Velikolukskiy Svinovodcheskiy Kompleks is actively increasing exports, and its pressure on the regional market has decreased; enterprises that started the transition to new technologies in 2019–2020 successfully completed it and gained a foothold in the market; foreign companies that invested in pig breeding did not withdraw their assets during the sanctions period; most pig breeding enterprises organized product processing. Large pig breeding enterprises have achieved the parameters of sustainable development, but their share in pork production is small — 20%.

Key words: pig breeding, pork production, large enterprises, loans, financial stability, profitability, production efficiency

For citation: Smirnova V.V. Analysis of the sustainability and effectiveness of the development of large pig breeding enterprises in the North-Western Federal District. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 126–133 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-126-133>

Введение/Introduction

Свиноводство является одной из основных отраслей сельского хозяйства в Северо-Западном федеральном округе (СЗ ФО) Российской Федерации. По объемам производства свиней на убой этот регион занимает третье место (после Центрального и Приволжского ФО) [1]. Главное конкурентное преимущество СЗ ФО — это большой рынок реализации продукции свиноводства. Потребление всех видов мяса в регионе растет быстрее, чем его производство: в 2019 уровень самообеспеченности мясом составлял — 71,5%, в 2023 г — 66,9% [2].

Соответственно в отрасль привлекаются значительные инвестиции, связанные с федеральными и региональными программами поддержки производства мяса. Самое крупное предприятие региона ООО «Великолукский свиноводческий комплекс» производит 72% свиноводческой продукции, остальные крупные предприятия более 23% [3]. Большинство свинокомплексов развивается за счет льготного инвестиционного кредитования, которое было прекращено в 2019 году¹. Высокотехнологичные свиноводческие компании зависят от импортной техники и технологий. Достижение технологического суверенитета требует значительных финансовых вложений [4, 5]. В 2020 г. расходы государственного бюджета на поддержку сельского хозяйства были снижены на 4% по сравнению с предыдущим годом [6]. В 2021–2023 гг. условия льготного краткосрочного кредитования ухудшились: компенсация банкам понижена с 70 до 50% от ключевой ставки, а предельная ставка заемщикам повышена с 6,8 до 10% [7].

В период санкций и антисанкций отмечают значительные колебания цен на сельскохозяйственную продукцию [8], и в долгосрочной перспективе это отрицательно скажется на доходах предприятий [9].

Внедрение цифровых технологий является не только перспективой роста эффективности, но и повышает кредитные риски. Автоматизация животноводства дает снижение затрат на 19,8% [10]. Однако в период 2019–2022 гг. низкая рентабельность наблюдалась в двух группах предприятий: старые не модернизированные свинокомплексы и высокотехнологичные предприятия, только начинающие гасить кредит [11].

Уменьшение государственной поддержки, повышение ставки рефинансирования ЦБ, снижение покупательной способности населения, невысокий рост закупочных цен на свинину ведут к падению доходов предприятий. Эффективность деятельности свинокомплексов снизилась как в

среднем по РФ [12], так и в Центральной Черноземной Зоне [13,14].

В северо-западном регионе нет дешевых ресурсов [15], а европейские санкции и кризис перепроизводства существенно ухудшили положение свиноводческих предприятий², в этих условиях оценка экономики ведущих производителей отрасли становится актуальной задачей.

Цель исследования — оценка финансовой устойчивости свиноводческих предприятий и эффективности производства продукции свиноводства в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации.

Новизна исследования заключается в комплексной оценке финансовой устойчивости и эффективности производства крупных свиноводческих предприятий Северо-Западного федерального округа за период 2019–2025 гг. Анализ учитывает одновременное влияние санкционного давления, снижения государственной поддержки и кризиса перепроизводства, а также выявляет факторы, позволившие свиноводческим предприятиям достичь высокой рентабельности в условиях доминирования агрохолдингов.

Практическая значимость работы состоит в том, что ее результаты могут быть использованы региональными органами управления для корректировки мер поддержки свиноводства, самими предприятиями — для разработки стратегий повышения финансовой устойчивости, а также инвесторами и аналитиками для оценки отраслевых рисков.

Материал и методы исследования / Material and methods

В качестве базы для анализа выбран 2019 год, как начало периода полной самообеспеченности России продукцией свиноводства³. Для оценки объемов производства использованы: данные Росстат⁴, рейтинги Национального союза свиноводов за 2019–2025⁵ гг.⁶, данные предприятий. При проведении исследований применялись экономико-статистические методы.

Для анализа выбраны предприятия с основным видом деятельности выращивание свиней на мясо (основной код ОКВЭД2 01.46) и выручкой более 1 млрд. рублей (за 2024 год). Выборка сделана по базе данных сайта Test Firm⁷. Предприятия, имеющие развитое птицеводство и свиноводство, в анализ не включены, т.к. невозможно определить вклад каждой отрасли.

Низкую эффективность свиноводческих предприятий связывают с высокой кредитной нагрузкой [11]. Для проверки данной гипотезы были

¹ Постановление Правительства РФ от 26.04.2019 № 512 <https://base.garant.ru/72234382/>

² <https://www.tsenovik.ru/articles/vystavki-i-meropriyatiya/otrasl-svinovodstva-ustranit-risk-pereproizvodstva/>

³ https://www.tsenovik.ru/bizness/archive/182/?ELEMENT_ID=39519&ysclid=mn8t712ay566852234

⁴ <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>

⁵ Данные за 2025 г. являются предварительными/оценочными

⁶ <https://www.moshol14.ru/> и <https://meat-expert.ru/news/19728-nss-opublikoval-reiting-proizvoditelei-svininy-po-itogam-2025-goda>

⁷ <https://www.testfirm.ru>

проведены расчеты коэффициентов финансовой устойчивости (КФУ)

$$\text{КФУ} = \frac{\text{стр.1300} + \text{стр.1400}}{\text{стр.1700}},$$

коэффициента автономии (КА)

$$\text{КА} = \frac{\text{стр.1300}}{\text{стр.1600}}$$

и коэффициентов ликвидности по формулам для баланса организации⁸. Они показывают общую кредитную нагрузку и угрожает ли утрата платежеспособности предприятию. Все коэффициенты рассчитаны автором на основе данных предприятий, представленных в базе данных Государственного информационного ресурса бухгалтерской (финансовой) отчетности⁹.

Выборка ограничена крупными свиноводческими предприятиями СЗ ФО с выручкой более 1 млрд руб., поэтому выводы не распространяются на малые и средние хозяйства и другие регионы Российской Федерации. Анализ опирается на количественные финансовые коэффициенты; качественные факторы (менеджмент, технологии, эпизоотическая обстановка) не рассматривались.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Последние 10 лет темп роста объемов производства свинины в Северо-Западном Федеральном Округе выше, чем в среднем по России.

За период 2014-2019 гг. производство свиней на убой в РФ выросло на 31,6%, в СЗ ФО — на 94% рис. 1.

После достижения самообеспеченности по свинине рост производства замедлился. За период 2019–2024 гг. производство свиней на убой увеличилось в РФ на 24,8%, в СЗ ФО — на 34,7%.

В российском производстве свинины доля СЗ ФО составляла: в 2014 г. — 5,7%, в 2024 г. — 9,0%.

В сельскохозяйственных организациях СЗ ФО рост производства за 2014–2024 гг. составил 2,8 раза. Наибольший рост производства свиней

на убой в СХО за 2014–2024 гг. был в Псковской области — 5,3 раз, на втором месте Калининградская область — 2,4, на третьем республика Коми — 2,0 раз. В остальных регионах стагнация или снижение производства.

В Псковской области около 95% производства обеспечивает агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс» — в 2024 г. он произвел 400,1 тыс. тонн свинины в живом весе.¹⁰ ООО «Псковагроинвест» производит всего 20,4 тыс. тонн.

В Калининградской области: агрохолдинг «Правдинское свино производство» ежегодно выпускает около 50 тыс. т (на двух предприятиях), ООО «Прибалтийская мясная компания три» — 10,1 тыс. т.¹¹

В республике Коми действует АО «Птицефабрика Зеленецкая», которая в 2024 г. произвела 9,0 тыс. тонн свинины в живом весе. Поскольку основным видом деятельности этого предприятия является птицеводство в рейтинг крупнейших свинокомплексов СЗ ФО его не включили.

В целом по СЗ ФО в 2024 г. два крупнейших агрохолдинга («Великолукский свиноводческий комплекс» и «Правдинское свино производство») произвели 80% свиноводческой продукции региона. Всего в регионе действует 4 агрохолдинга (в них входит 8 свинокомплексов) и 3 крупных независимых предприятия.

В аналитических таблицах в начале показаны агрохолдинги, а затем независимые предприятия (сгруппированы по порядку уменьшения выручки).

За период 2019-2024 гг. объемы производства в агрохолдинге «Великолукский свиноводческий комплекс» выросли на 50%, выручка выросла на 93% (с 28,5 млрд. руб. до 54,8 млрд. руб.) (табл. 1).

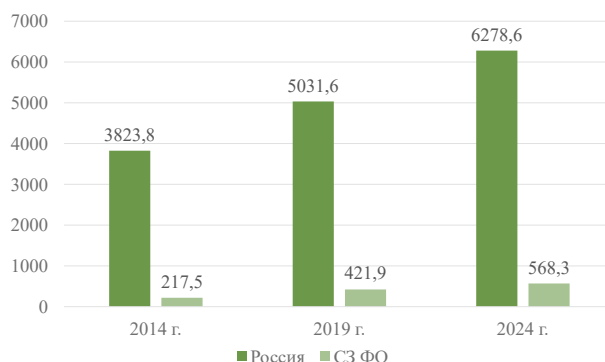
В 2025 г. агрохолдинг начал диверсификацию деятельности предприятия ООО «Великолукский свиноводческий комплекс», возможно, с целью объединения всех активов в ООО «ВСГЦ». В результате в 2025 году выручка ООО «Великолукский свиноводческий комплекс» составила 3,5% к уровню предыдущего года и 2% к уровню 2019 г. В целом по агрохолдингу за 2024-2025 гг. выручка уменьшилась на 4,6% (до 52,3 млрд. руб.).

Агрохолдинг «Правдинское свино производство» за 2019-2025 гг. увеличил выручку в 5,3 раза до 14,3 млрд. руб.

В агрохолдинге «Идаванг» основное предприятие «Идаванг агро» увеличило выручку на 32%, а открытый в 2018 г. свинокомплекс «Идаванг Луга» в 5,5 раз. В 2021 г. ООО «Идаванг Луга» вышло на проектную мощность, с тех пор объемы производства свинины не увеличивались. Рост выручки обусловлен маркетинговой стратегией компании.

Рис. 1. Производство свиней на убой в России и Северо-Западном федеральном округе в 2014 г., 2019 г. и 2024 г., живой вес, тыс. т

Fig. 1. Production of pigs for slaughter in Russia and the North-Western Federal District in 2014, 2019 and 2024, live weight, thousand tons



⁸ <https://www.business.ru/article/4912-analiz-likvidnosti-balansa>

⁹ <https://bo.nalog.gov.ru/>

¹⁰ <https://agromics.ru/novosti/svinokompleksy/>

¹¹ https://vk.com/wall-21662140_583429

Таблица 1. Динамика выручки крупнейших свиноводческих предприятий Северо-Западного федерального округа, 2019 г. и 2023–2025 гг., млн. руб.

Table 1. Revenue dynamics of the largest pig breeding enterprises of the North-Western Federal District, 2019 and 2023–2025, million rubles

Наименование предприятия	2019 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2025 г. в % к 2019 г.
ООО «ВСГЦ»	10413	30626	42220	51859	498
ООО «Великолукский свиноводческий комплекс»	18058	11559	12629	441	2
Итого по агрохолдингу «Великолукский свиноводческий комплекс» («ВСГЦ» + «ВСК»)	28471	42185	54849	52300	184
ООО «Правдинское свино производство — 2»	2031	6735	8750	9970	491
АО «Правдинское свино производство»	645	3183	3966	4356	675
Итого по агрохолдингу «Правдинское свино производство»	2676	9918	12716	14326	535
ООО «Идаванг агро»	2122	2220	2443	2791	132
ООО «Идаванг Луга»	234	1053	1120	1298	555
Итого по агрохолдингу «Идаванг»	2356	3273	3563	4089	174
АО «Свинокомплекс Приозерный»	767	957	1523	1930	252
АО «Свинокомплекс Устьволмский»	818	1087	1184	945	116
Итого по агрохолдингу «Митпром» (Приозерный + Устьволмский)	1585	2044	2707	2875	181
ООО «Псковагроинвест»	1568	2261	3029	4155	265
ООО «Прибалтийская мясная компания три»	938	1283	2034	2582	275
СПК «Агрофирма Красная звезда»	910	1082	1109	1257	138
Сумма по всем предприятиям	38504	62046	80007	81584	212

АО «Свинокомплекс Приозерный» и АО «Устьволмский» входили в ГК «Пулковский». В 2019 г. он обанкротился и предприятия перешли к ООО «Митпром»¹². Производство на этих комплексах было ликвидировано, а затем восстановлено (в 2022–2023 гг.). В 2025 г. общая выручка двух предприятий ООО «Митпром» составила 2,9 млрд. руб.

Из независимых предприятий самая большая выручка у АО «Псковагроинвест» — 4,1 млрд. руб.

Для устойчивого развития необходимы регулярные вложения в капитал предприятия. Активы предприятия включают: основные средства, нематериальные активы, капитальные вложения, долгосрочные финансовые вложения, запасы, денежные средства, средства в расчетах, краткосрочные финансовые активы. Современная бухгалтерская система включает в активы все имущество предприятия [16–18]. Таким образом, динамика активов показывает уже произведенные в отрасль инвестиции и источники этих вложений (собственные средства или займы).

Вложения в основной капитал росли медленнее, чем выручка. В среднем по всем исследуемым предприятиям за 2019–2025 гг. активы выросли в 2,9 раз. Показатели выше среднего у двух предприятий: агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс» увеличил активы в 3,3 раза, ООО «Псковагроинвест» — в 3,3 раза (табл. 2).

По росту собственного капитала лидирует агрохолдинг «Великолукский свиноводческий

Таблица 2. Динамика активов и собственного капитала крупнейших свиноводческих предприятий Северо-Западного федерального округа, 2019 г. и 2024–2025 гг., миллиард руб.

Table 2. Dynamics of assets and equity of the largest pig breeding enterprises of the North-Western Federal District, 2019 and 2024–2025, billion rubles

	Активы на конец года			Собственный капитал		
	2019 г.	2024 г.	2025 г.	2019 г.	2024 г.	2025 г.
ООО «ВСГЦ»	17,3	78,2	90,9	7,2	46,3	63,3
ООО «Великолукский свиноводческий комплекс»	19,1	26,7	25,9	10,5	24,4	24,2
агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс»	36,3	104,9	116,9	17,8	70,7	87,6
ООО «Правдинское свино производство — 2»	5,7	17,5	17,1	0,9	5,9	7,1
АО «Правдинское свино производство»	6,0	14,9	15,0	3,0	3,2	4,2
агрохолдинг «Правдинское свино производство»	11,7	32,3	32,1	3,8	9,1	11,4
ООО «Идаванг агро»	3,6	5,5	6,1	2,1	5,3	5,9
ООО «Идаванг Луга»	1,5	1,5	2,4	0,2	1,0	1,2
агрохолдинг «Идаванг Агро»	5,2	7,0	8,5	2,2	6,2	7,1
АО «Свинокомплекс Приозерный»	0,0	1,1	1,9	0,0	0,5	0,6
АО «Свинокомплекс Устьволмский»	0,0	0,5	0,4	0,0	0,1	-0,1
агрохолдинг «Митпром»	0,0	1,6	2,3	0,0	0,5	0,5
ООО «Псковагроинвест»	1,9	6,0	6,2	1,1	1,8	1,8
ООО «Прибалтийская мясная компания три»	2,0	3,5	4,2	1,7	2,9	3,7
СПК «Агрофирма Красная звезда»	1,1	1,5	1,6	1,1	1,2	1,3
Итого по всем предприятиям	58,3	156,9	171,8	27,7	92,5	113,2

комплекс». По сумме двух свиноводческих предприятий, в него входящих, за 2019–2025 гг. собственные активы увеличились в 4,9 раза (с 17,8 до 87,6 млрд. руб.). На последнем месте агрохолдинг «Митпром», его собственные активы не увеличиваются. АО «Свинокомплекс Устьволмский» имеет

¹² https://vk.com/wall-21662140_583429

отрицательный собственный капитал, что свидетельствует о высокой долговой нагрузке.

Для устойчивого развития предприятия важна независимость от внешних инвестиций.

Коэффициент финансовой устойчивости показывает, какая часть капитала профинансирована из долгосрочных источников. Чем выше показатель, тем меньше краткосрочных займов. Мусьял А.В. утверждает, что для свиноводства нормативный показатель — 0,75 [19]. Сайт Клерк для стабильной деятельности компаний рекомендует диапазон 0,8–0,9¹³.

По этим параметрам большинство предприятий являются независимыми от краткосрочных кредитов. В 2019 г. коэффициент финансовой устойчивости в среднем по предприятиям составлял 0,67, в 2025 — 0,83 (табл. 3).

В 2025 г. низкий коэффициент финансовой устойчивости был только у предприятий агрохолдинга «Митпром»: АО «Свинокомплекс Приозерный» — 0,47 и АО «Свинокомплекс Устьволмский» — 0,26.

Коэффициент автономии ниже 0,5 показывает, что развитие производства идет за счет долгосрочных кредитов. В 2019 г. половина предприятий выбирала кредиты, в среднем по всем предприятиям коэффициент автономии составлял 0,48. В 2025 г. средний коэффициент автономии увеличился до 0,66.

Инвестиционные кредиты закрыли агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс» и агрохолдинг «Идаванг Агро», и коэффициент автономии у них существенно повысился. Весь период 2019–2025 гг. развивались за счет собственного капитала ООО «Прибалтийская мясная компания три» и СПК «Агрофирма Красная звезда».

Высокие незакрытые инвестиционные кредиты у агрохолдинга «Правдинское свино производство» (коэффициент автономии в 2019 г. — 0,33, в 2025 г. — 0,35). Понизился коэффициент автономии у ООО «Псковагроинвест» с 0,57 до 0,29. В 2025 г. наименьший коэффициент автономии у агрохолдинга «Митпром» — 0,21. Таким образом, переоборудовать свинокомплексы или их восстанавливать агрохолдинги и независимые предприятия предпочитают за счет кредитов.

Рост финансовой независимости предприятий подтверждается повышением коэффициентов ликвидности.

Бадмаева Д. Г. предлагает для оценки платежеспособности использовать коэффициенты ликвидности. Для сельскохозяйственных предприятий коэффициент абсолютной ликвидности

Таблица 3. Показатели финансовой независимости крупнейших свиноводческих предприятий Северо-Западного федерального округа, 2019 г. и 2024–2025 гг.

Table 3. Indicators of financial independence of the largest pig breeding enterprises of the North-Western Federal District, 2019 and 2024–2025

	Коэффициент финансовой устойчивости			Коэффициент автономии		
	2019 г.	2024 г.	2025 г.	2019 г.	2024 г.	2025 г.
ООО «ВСГЦ»	0,59	0,85	0,90	0,42	0,59	0,70
ООО «Великолукский свиноводческий комплекс»	0,68	0,96	0,97	0,55	0,92	0,93
агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс»	0,62	0,88	0,92	0,49	0,67	0,75
ООО «Правдинское свино производство — 2»	0,84	0,69	0,72	0,15	0,34	0,42
АО «Правдинское свино производство»	0,69	0,65	0,73	0,49	0,22	0,28
агрохолдинг «Правдинское свино производство»	0,76	0,67	0,72	0,33	0,28	0,35
ООО «Идаванг агро»	0,82	0,96	0,96	0,57	0,96	0,96
ООО «Идаванг Луга»	0,62	0,65	0,83	0,1	0,65	0,49
агрохолдинг «Идаванг Агро»	0,76	0,90	0,92	0,43	0,90	0,83
АО «Свинокомплекс Приозерный»	0,0	0,67	0,47	0,0	0,4	0,3
АО «Свинокомплекс Устьволмский»	0,0	0,18	0,26	0,0	0,18	0,01
агрохолдинг «Митпром»	0,0	0,52	0,43	0,0	0,33	0,21
ООО «Псковагроинвест»	0,68	0,72	0,67	0,57	0,29	0,29
ООО «Прибалтийская мясная компания три»	0,85	0,82	0,87	0,84	0,81	0,87
СПК «Агрофирма Красная звезда»	0,94	0,88	0,89	0,95	0,79	0,81
Среднее по предприятиям	0,67	0,83	0,87	0,48	0,59	0,66

должен быть в диапазоне 0,2–2,1. Коэффициент текущей ликвидности должен быть выше 1,0, платежеспособность организации считается высокой, если коэффициент выше 5,1 [20].

В 2019 г. всего у трех предприятий коэффициент абсолютной ликвидности превышал 0,2: ООО «Идаванг агро» — 0,5, СПК «Агрофирма Красная звезда» — 1,4, ООО «Прибалтийская мясная компания три» — 3,0 (табл. 4). У остальных краткосрочные обязательства покрыты высоколиквидными активами в меньшей степени, чем в среднем по отрасли. В 2025 г. высокий коэффициент абсолютной ликвидности был уже у 7 предприятий.

В 2019 г. высокой платежеспособностью обладало 1 только СПК «Агрофирма Красная звезда». В 2025 г. коэффициент текущей ликвидности выше 5,1 был у четырех свинокомплексов.

По всем трем коэффициентам ликвидности существенный рост отмечен у ООО «ВСГЦ», ООО «Великолукский свиноводческий комплекс» и ООО «Идаванг агро». Увеличение всех показателей ликвидности свидетельствует об отказе от привлечения краткосрочных кредитов для наращивания оборотных активов [21].

Таким образом, по данным коэффициентов автономии и ликвидности за 2019–2025 гг., кредитная нагрузка на предприятия уменьшилась. Это

¹³ <https://www.klerk.ru/buh/articles/594818/>

Таблица 4. Динамика коэффициентов ликвидности крупнейших свиноводческих предприятий Северо-Западного федерального округа, 2019 г. и 2024–2025 гг.

Table 4. Dynamics of liquidity ratios of the largest pig breeding enterprises of the North-Western Federal District, 2019 and 2024–2025

	Коэффициент абсолютной ликвидности			Коэффициент текущей ликвидности			Коэффициент быстрой ликвидности		
	2019 г.	2024 г.	2025 г.	2019 г.	2024 г.	2025 г.	2019 г.	2024 г.	2025 г.
ООО «ВСГЦ»	0,0	0,9	3,5	0,3	4,2	6,7	0,1	3,1	5,7
ООО «Великолукский свиноводческий комплекс»	0,1	8,3	13,2	1,7	22,6	34,7	1,0	22,0	33,9
ООО «Правдинское свино производство — 2»	0,0	0,0	0,0	0,9	0,8	0,9	0,3	0,2	0,3
АО «Правдинское свино производство»	0,1	0,0	0,0	1,0	0,8	1,1	0,5	0,4	0,6
ООО «Идаванг агро»	0,5	4,9	2,0	1,7	16,4	12,7	0,7	12,2	8,8
ООО «Идаванг Луга»	0,0	0,3	0,3	0,8	0,9	1,7	0,2	0,3	0,6
АО «Свинокомплекс Приозерный»	н/д	0,0	0,0	н/д	1,1	1,2	н/д	0,4	0,6
АО «Свинокомплекс Устьволмский»	н/д	0,0	0,0	н/д	0,9	1,0	н/д	0,3	0,5
ООО «Псковагроинвест»	0,1	0,1	0,1	1,4	1,4	1,3	0,2	0,3	0,2
ООО «Прибалтийская мясная компания три»	3,0	2,2	4,0	3,8	3,5	5,7	3,1	2,4	4,4
СПК «Агрофирма Красная звезда»	1,4	0,2	0,2	8,4	4,5	4,8	1,3	0,7	0,5

способствовало повышению экономической эффективности.

В 2019 г. агрохолдинг «Великолукский свиноводческий комплекс» имел самую высокую прибыль — 5,5 млрд. руб. и норму прибыли — 20,1% (табл. 5).

Средние свиноводческие предприятия были неконкурентоспособны по сравнению с лидером. Убыточными были 6 из 9 средних свинокомплексов.

В 2025 г. самый высокий объем прибыли по-прежнему у «Великолукского свиноводческого комплекса» — 16,8 млрд. руб. Однако по рентабельности продаж лидирует независимое предприятие ООО «Прибалтийская мясная компания три» — 38,7%. Агрохолдинги незначительно отстают: «Великолукский агропромышленный комплекс» — 32,2%, «Правдинское свино производство» — 20,1%, «Идаванг» — 20,1%. За период 2019-2025 гг. ухудшилось положение только одного предприятия ООО «Псковагроинвест»: объем прибыли уменьшился в три раза, рентабельность продаж упала с 5,2% до 0,6%. У остальных положительная динамика. Убыточным остается только АО «Свинокомплекс Устьволмский».

Сопоставление рентабельности активов тоже показало положительную динамику. Убыточным остается только агрохолдинг «Митпром» (рис. 2).

При сравнении рентабельности активов с коэффициентом автономии видно, что отсутствие кредитов не гарантирует эффективность. Так, ООО «Прибалтийская мясная компания три» в 2025 г. при коэффициенте автономии 0,87 достигло рентабельности активов в 25,7%, а у СПК

Таблица 5. Динамика прибыли крупнейших свиноводческих предприятий Северо-Западного федерального округа, 2019 г. и 2024–2025 гг.

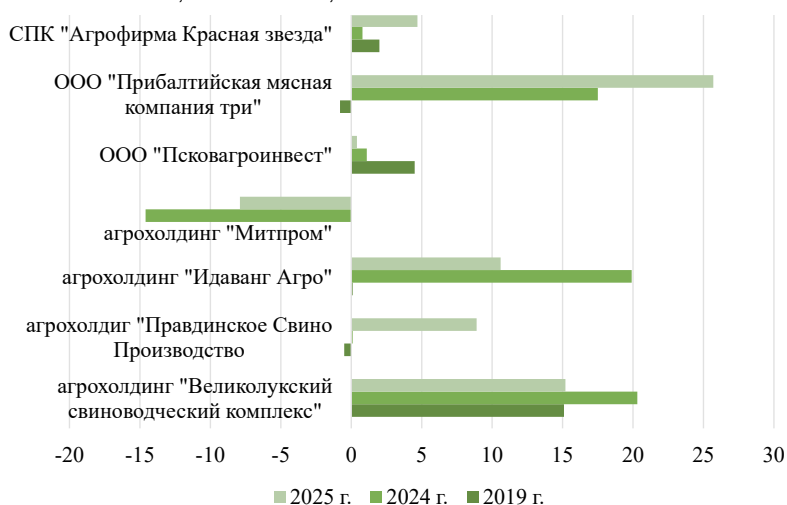
Table 5. Profit dynamics of the largest pig breeding enterprises in the North-Western Federal District, 2019 and 2024–2025

Наименование предприятия	Чистая прибыль, млн. руб.			Рентабельность продаж%		
	2019 г.	2024 г.	2025 г.	2019 г.	2024 г.	2025 г.
ООО «ВСГЦ»	2229	16165	17049	21,4	38,3	32,9
ООО «Великолукский свиноводческий комплекс»	3244	3674	-226,8	18,0	29,1	-51,4
Итого по агрохолдингу «Великолукский свиноводческий комплекс» («ВСГЦ» + «ВСК»)	5473	19839	16822	19,2	36,2	32,2
ООО «Правдинское свино производство — 2»	-39	485	1587	-1,9	5,5	15,9
АО «Правдинское свино производство»	-15	-437	1289	-2,3	-11,0	29,6
Итого по агрохолдингу «Правдинское свино производство»	-54	48	2876	-2,0	0,4	20,1
ООО «Идаванг агро»	5	1138	627	0,3	46,6	22,5
ООО «Идаванг Луга»	-1	169	193	-0,5	15,1	14,9
Итого по агрохолдингу «Идаванг»	4	1307	820	0,2	36,7	20,1
АО «Свинокомплекс Приозерный»	-147	-35	17	-19,1	-2,3	0,9
АО «Свинокомплекс Устьволмский»	-246	-186	-173	-30,0	-15,7	-18,3
Итого по агрохолдингу «Митпром» (Приозерный + Устьволмский)	-392	-221	-156	-24,7	-8,2	-5,4
ООО «Псковагроинвест»	81	66	26	5,2	2,2	0,6
ООО «Прибалтийская мясная компания три»	-15	564	998	-1,6	27,7	38,7
СПК «Агрофирма Красная звезда»	22	11	71	2,4	1,0	5,7

«Агрофирма Красная звезда» при коэффициенте автономии 0,81 рентабельности активов составила 4,7%. Агрохолдинг «Правдинское свино производство» при коэффициенте автономии 0,35 за год повысил рентабельность активов с 0,1% до 8,9%. Агрохолдинг «Идаванг Агро» за 2019–2025 гг. при повышении коэффициента автономии с 0,43 до 0,83, увеличил рентабельность активов с 0,1% до 10,6%.

Рис. 2. Рентабельность активов крупнейших свиноводческих Северо-Западного федерального округа за 2019 г., 2024 г. и 2025 г., %

Fig. 2. Return on assets of the largest pig farms in the North-Western Federal District for 2019, 2024 and 2025, %



Таким образом, для повышения эффективности источники инвестиций менее важны, чем направления их использования. Предприятия, активно внедряющие новые технологии, увеличивают рентабельность. Остающиеся на прежнем технологическом уровне балансируют на грани убыточности.

В целом эффективность производства растет как у агрохолдинга «Великолукский свиноводческий комплекс», так и у средних предприятий, сохранивших производство в 2019 г.

Средние предприятия стали конкурентоспособны благодаря следующим факторам:

1. «Великолукский агропромышленный комплекс» активно увеличивает экспорт, его давление на региональный рынок снизилось.
2. Предприятия, в 2019–2020 гг. начавшие переход на новые технологии, успешно его завершили и закрепились на рынке.
3. Иностранные компании, инвестировавшие в свиноводство, не стали выводить свои активы в период санкций.
4. У большинства предприятий есть переработка продукции, а это существенно увеличивает рентабельность. Так, ООО «Прибалтийская мясная компания три» в 2025 г. перешло на полную переработку свинины, норма прибыли за год увеличилась с 27,7% до 38,7% (табл. 2).

Выводы / Conclusion

За период 2019–2025 гг. общая выручка исследуемых свинокомплексов увеличилась в 2 раза, активы — в 3 раза. Инвестиции в производство предприятия осуществляют за счет собственных средств. У большинства были долгосрочные кредиты, они их погасили в 2023–2024 гг.

Существенно снизилась кредитная нагрузка. Низкий коэффициент автономии только у четырех свинокомплексов, не закончивших реконструкцию. При этом есть предприятия с низким коэффициентом автономии и высокой рентабельностью продаж. Например, у АО «Правдинское свино производство» в 2025 г. коэффициент автономии был 0,28, а рентабельность продаж 29,6%. Средняя рентабельность продаж повысилась с 13,3% до 26,3%. Важно, что экономические показатели улучшились не только у агрохолдинга «Великолукский агропромышленный комплекс», но и у большинства предприятий региона. Анализ показал, что крупные свиноводческие

комплексы Северо-Западного федерального округа достигли финансовой устойчивости. Производство свиноводческой продукции в регионе выгодно при достаточном масштабе производства, позволяющем внедрить современные технологии.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в том, что его результаты могут быть непосредственно использованы для повышения эффективности свиноводческого комплекса Северо-Западного федерального округа.

На основе выявленных закономерностей сформулированы следующие рекомендации:

- 1) Свиноводческим предприятиям: ускорить внедрение современных технологий и автоматизации, наращивать долю собственных средств в структуре капитала и снижать краткосрочную кредитную нагрузку, развивать собственную переработку животноводческой продукции для увеличения добавленной стоимости.
- 2) Региональным органам управления: скорректировать меры государственной поддержки с акцентом на независимые предприятия, завершающие модернизацию, стимулировать экспортную деятельность и развитие рыночной инфраструктуры, предусмотреть льготное кредитование для предприятий с низким коэффициентом автономии, но высокой рентабельностью продаж.
- 3) Инвесторам и аналитикам: учитывать, что финансовая устойчивость и эффективность в свиноводстве зависят не столько от источника инвестиций, сколько от направлений их использования (технологии, переработка). Это подтверждается примерами предприятий с низкой автономией и одновременно высокой рентабельностью.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках Государственного задания по бюджетной теме № FFZF-2025-0015.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цындрин Ю. Свиноводство — главный драйвер мясной подотрасли. *Животноводство России*. 2025; (S1): 2–5. EDN CSIJBG
2. Кондратьева Н.Н. Тенденции производства и потребления мяса в России. *Продовольственная политика и безопасность*. 2025; 12(4): 1131–1144. <https://doi.org/10.18334/ppib.12.4.124111>
3. Смирнова В.В. Развитие свиноводства в Северо-Западном федеральном округе в условиях реформ. *Аграрная наука*. 2025; (5): 158–165. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-158-167>
4. Виткалова С.О. Инвестиционное развитие и конкурентоспособность продукции свиноводства в условиях санкционного давления. *Экономика сельского хозяйства России*. 2022; (7): 58–65. <https://doi.org/10.32651/227-58>
5. Кибиров А.Я., Виткалова С.О. Техничко-технологический суверенитет как фактор конкурентоспособности высокотехнологичных свиноводческих агропромышленных формирований холдингового типа. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2023; (2): 78–85. <https://doi.org/10.33938/232-78>
6. Туманин А.В. Современные тенденции государственной финансовой поддержки сельского хозяйства России. *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2025; (12): 254–259. <https://doi.org/10.17513/vaael.4455>
7. Петриков А.В. Антисанкционная политика в сельском хозяйстве: краткосрочные и среднесрочные аспекты. *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2024; 248: 527–542. <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2024-248-4-527-542>
8. Жилияков Д.И., Новиков Д.С. Государственное регулирование ценообразования в условиях нестабильности. *Учет и статистика*. 2026; 23(1): 27–37. <https://doi.org/10.54220/1994-0874.2026.57.40.014>
9. Самыгин Д.Ю., Гудашев В.А., Холодова М.А., Такмакова Е.В. Оценка сбалансированности поддержки сельского хозяйства. Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». 2025; 20(3): 327–345. <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2025-3-327-345>
10. Чувахин П.И. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: экономическая эффективность внедрения информационных технологий. *Аграрная наука*. 2025; (8): 155–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159>
11. Плаксин И.Е., Плаксин С.И., Трифанов А.В. Тенденции и перспективы развития свиноводства в России. *АгроЭкоИнженерия*. 2022; (1): 155–168. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-155-168>
12. Хайруллина О.И. Доходность свиноводства: текущая оценка, проблемы и перспективы роста. *Продовольственная политика и безопасность*. 2025; 12(3): 667–686. <https://doi.org/10.18334/ppib.12.3.122118>
13. Мусьял А.В., Жилияков Д.И., Виткалова С.О., Петрушина О.В. Эффективность свиноводства и его место в структуре агропроизводства в регионах Черноземья. *Вестник евразийской науки*. 2023; 15(6). EDN USNVBA
14. Харина А.С., Тимофеев З.О., Святогоров Н.А. Состояние и перспективы развития свиноводства в Ростовской области. *Агропродовольственная экономика*. 2024; (1): 51–55. EDN QLZGPT
15. Губанова Е.В., Токмурзин Т.М., Банников С.А. Пространственное размещение сельского хозяйства: факторы, подходы исследований, эффективность. *Вестник НГИИ*. 2023; (4): 88–98. EDN UDHUOW
16. Бондина Н.Н., Бондин И.А., Павлова И.В. Диагностика обеспечения и использования производственных ресурсов в сельскохозяйственных организациях. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023; 16(1): 166–176. EDN EKGZQK
17. Воликов О.А., Куликова В.В. Учет активов в деятельности предприятия. *Экономика и бизнес: теория и практика*. 2022; (12-1): 65–71. <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2022-12-1-65-71>
18. Куликова Л.И., Солнцева А.А. Исследования современного состояния бухгалтерского баланса как источника информации о финансовом положении организации. *Финансы и учетная политика*. 2019; (3): 17–24. EDN IIMCZH
19. Мусьял А.В., Жилияков Д.И., Виткалова С.О., Петрушина О.В. Взаимосвязь финансовой устойчивости и эффективности деятельности на предприятиях свиноводческой отрасли. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(10): 1359–1370. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1359-1370>
20. Бадмаева Д.Г., Золотарев А.А. Ликвидность и платежеспособность сельскохозяйственной организации: сущность и методы анализа. *Петербургский экономический журнал*. 2020; (4): 126–136. EDN DXQYEA
21. Векшина А.А. О проблеме формирования оптимального соотношения собственных и заемных средств компании в современных экономических реалиях. *Экономика и управление*. 2024; 30(10): 1245–1253. <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-10-1245-1253>

ОБ АВТОРАХ

Виктория Викторовна Смирнова
кандидат экономических наук, доцент
smirnova_vik@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8345-8444>

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук,
14 линия Васильевского острова, д. 39, Санкт-Петербург, 199178,
Россия

FUNDING

The materials was carried out within the framework of the State assignment on the budget topic No. FFZF-2025-0015.

REFERENCES

1. Tsyndrina Yu. Pig production - a key driver of the meat subsector. *Animal Husbandry in Russia*. 2025; (S1): 2–5 (in Russian). EDN CSIJBG
2. Kondratyeva N.N. Trends in meat production and consumption in Russia. *Food Policy and Security*. 2025; 12(4): 1131–1144 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.12.4.124111>
3. Smirnova V.V. Pig breeding development in the North-Western Federal District in the context of reforms. *Agrarian science*. 2025; (5): 158–165 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-158-167>
4. Vitkalova S.O. Investment development and competitiveness of pig products under sanctions pressure. *Economics of Agriculture of Russia*. 2022; (7): 58–65 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/227-58>
5. Kibirov A.Ia., Vitkalova S.O. Technical and technological sovereignty as a factor of competitiveness of high-tech pig breeding agro-industrial formations of a holding type. *Economy, labor, management in agriculture*. 2023; (2): 78–85 (in Russian). <https://doi.org/10.33938/232-78>
6. Tumanin A.V. Contemporary trends in state financial support for agriculture in Russia. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2025; (12): 254–259 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/vaael.4455>
7. Petrikov A.V. Anti-sanctions policy in agriculture: short- and medium-term aspects. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 2024; 248: 527–542 (in Russian). <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2024-248-4-527-542>
8. Zhilyakov D.I., Novikov D.S. State regulation of pricing in conditions of instability. *Accounting and Statistics*. 2026; 23(1): 27–37 (in Russian). <https://doi.org/10.54220/1994-0874.2026.57.40.014>
9. Samygin D.Yu., Gudashev V.A., Kholodova M.A., Takmakova E. V. Estimate of the balance of agricultural support. *Perm University Herald. Economy*. 2025; 20(3): 327–345 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2025-3-327-345>
10. Chuvaikhin P.I. Digital transformation of the agro-industrial complex: economic efficiency of introducing information technologies. *Agrarian science*. 2025; (8): 155–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159>
11. Plaksin I.E., Plaksin S.I., Trifanov A.V. Trends and prospects of pig breeding development in Russia. *AgroEcoEngineering*. 2022; (1): 155–168 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-155-168>
12. Khayrullina O.I. Pig farming profitability: current assessment, problems and growth prospects. *Food Policy and Security*. 2025; 12(3): 667–686 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.12.3.122118>
13. Musyal A.V., Zhilyakov D.I., Vitkalova S.O., Petrushina O.V. Development of the beef cattle industry in the regions of the Central Black-Earth region. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(6) (in Russian). EDN USNVBA
14. Kharina A.S., Timofeev Z.O., Svyatogorov N.A. State and prospects for the development of pig farming in the Rostov region. *Agro production and economics journal*. 2024; (1): 51–55 (in Russian). EDN QLZGPT
15. Gubanova E.V., Tokmurzin T.M., Bannikov S.A. Spatial location of agriculture: factors, research approaches, efficiency. *Bulletin NGIEI*. 2023; (4): 88–98 (in Russian). EDN UDHUOW
16. Bondina N.N., Bondin I.A., Pavlova I.V. Diagnostics of supply and use of productive resources in agricultural organizations. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16(1): 166–176 (in Russian). EDN EKGZQK
17. Volikov O.A., Kulikova V.V. Accounting of assets in the activities of the enterprise. *Economy and business: theory and practice*. 2022; (12-1): 65–71 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2022-12-1-65-71>
18. Kulikova L.I., Solntseva A.A. Studies of the current state of the balance sheet as a source of information about the financial situation of an organization. *Finance and accounting policy*. 2019; (3): 17–22 (in Russian). EDN IIMCZH
19. Musyal A.V., Zhilyakov D.I., Vitkalova S.O., Petrushina O.V. The relationship of financial stability and efficiency of activities at the enterprises of the pig industry. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(10): 1359–1370 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1359-1370>
20. Badmaeva D.G., Zolotarev A.A. Liquidity and solvency of an agricultural organization: essence and methods of analysis. *Petersburg Economic Journal*. 2020; (4): 126–136 (in Russian). EDN DXQYEA
21. Vekshina A.A. The problem of forming the optimal ratio of equity and debt funds of the company in modern economic circumstances. *Economics and Management*. 2024; 30(10): 1245–1253 (in Russian). <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-10-1245-1253>

ABOUT THE AUTHORS

Victoria Viktorovna Smirnova
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
smirnova_vik@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8345-8444>

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy
of Sciences,
39 14th Line of Vasilevsky Island, St. Petersburg, 199178,
Russia

И.В. Петрунина

Н.А. Горбунова ✉

М.Б. Ребезов

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

✉ n.gorbunova@fncps.ru

Поступила в редакцию: 02.06.2026

Одобрена после рецензирования: 10.09.2026

Принята к публикации: 26.09.2026

© Петрунина И.В., Горбунова Н.А.,
Ребезов М.Б.

Research article

 creative commons
Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-134-146

Irina V. Petrunina

Natalia A. Gorbunova ✉

Maksim B. Rebezov

Gorbatov Research Center for Food
Systems, Moscow, Russia

✉ n.gorbunova@fncps.ru

Received by the editorial office: 02.06.2026

Accepted in revised: 10.09.2026

Accepted for publication: 26.09.2026

© Petrunina I.V., Gorbunova N.A.,
Rebezov M.B.

Анализ текущего состояния и прогнозных тенденций мирового и российского рынков мяса: сопоставление данных FAO, USDA и OECD

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Производство мяса является стратегическим сектором продовольственной безопасности, однако подвержено влиянию макроэкономической нестабильности, климатических изменений и эволюции торговых правил. Цель — на основе сопоставительного анализа прогнозов FAO, USDA и ОЭСР выявить основные тренды и расхождения в оценках развития мирового и российского рынков мяса.

Методы. Использованы монографический, статистический методы, сравнительный анализ и экспертные оценки. Информационной базой послужили данные FAO, USDA, ОЭСР, Росстата, ФТС и Минсельхоза России за 2018–2025 гг. с прогнозом до 2034 г. Для оценки взаимосвязей применялись корреляционный анализ Пирсона и регрессионная модель квантилей с учетом временных лагов.

Результаты. Показано, что мировое производство мяса достигнет 406 млн т к 2034 г. (+10%), при этом лидирующие позиции сохранит мясо птицы (40,3% в 2025 г.). Выявлены расхождения между прогнозами FAO и USDA (по мясу птицы — до 42,9%), обусловленные различиями в методиках учета субпродуктов. Установлены статистически значимые корреляции для российского животноводства: отрицательная связь цен на комбикорма с поголовьем свиней ($r=-0,91$) и положительная — субсидий с поголовьем свиней ($r=+0,67$); для мясного скотоводства — связь импорта племенного материала с поголовьем ($r=+0,58$). Доля России в мировом производстве не превышает: говядина — 2,3%, свинина — 3,6%, мясо птицы — 4,6%. В РФ зафиксировано снижение производства крупного рогатого скота (–3,5% в 2025 г.) при росте птицы (+1,6%). Предложен дифференцированный подход к государственной поддержке с учетом эластичности отраслей к импорту племенного материала. Для устойчивого развития мясного рынка необходимо учитывать различия в методиках прогнозирования, усиливать поддержку переработчиков и развивать экспортный потенциал в страны Юго-Восточной Азии.

Ключевые слова: мировое производство мяса, прогноз развития, рынок мяса, ведущие производители, правила торговли

Для цитирования: Петрунина И.В., Горбунова Н.А., Ребезов М.Б. Анализ текущего состояния и прогнозных тенденций мирового и российского рынков мяса: сопоставление данных FAO, USDA и OECD. *Аграрная наука*. 2026; 411 (10): 134–146. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-134-146>

Analysis of the Current State and Projected Trends of the Global and Russian Meat Markets: A Comparison of FAO, USDA, and OECD Data

ABSTRACT

Relevance. Meat production is a strategic sector of food security, yet it remains vulnerable to macroeconomic instability, climate change, and evolving trade regulations. Objective — based on a comparative analysis of FAO, USDA, and OECD forecasts, to identify key trends and discrepancies in projections for global and Russian meat markets.

Methods. The study employed monographic and statistical methods, comparative analysis, and expert assessments. The information base comprised data from FAO, USDA, OECD, Rosstat, the Federal Customs Service, and the Ministry of Agriculture of Russia for 2018–2025, with a forecast horizon up to 2034. To assess relationships, Pearson correlation analysis and quantile regression models with time lags were applied.

Results. Global meat production is projected to reach 406 million tons by 2034 (+10%), with poultry maintaining its leading position (40.3% in 2025). Discrepancies between FAO and USDA forecasts were identified (up to 42.9% for poultry meat), driven by differences in ofal accounting methodologies. Statistically significant correlations were established for Russian livestock sectors: a strong negative correlation between feed prices and swine inventory ($r=-0.91$), a positive correlation between subsidies and swine inventory ($r=+0.67$), and a notable correlation between imports of breeding stock and cattle inventory ($r=+0.58$). Russia's share in global production does not exceed: beef — 2.3%, pork — 3.6%, poultry — 4.6%. In the Russian Federation, cattle slaughter decreased by 3.5% in 2025, while poultry output increased by 1.6%. A differentiated approach to government support is proposed, which takes into account the varying sensitivity of livestock subsectors to imports of breeding stock: for pork and poultry production, priority should be given to subsidising feed costs and working capital, while for beef cattle farming, support should focus on developing domestic breeding stock and import substitution. Sustainable development of the meat market requires adapting forecasting methodologies to the purpose of analysis — using USDA data for export strategy planning and FAO data for monitoring domestic food security — as well as expanding targeted support measures for processing enterprises and increasing exports to Southeast Asian countries.

Key words: global meat production, development forecast, meat market, leading producers, trade regulations

For citation: Petrunina I.V., Gorbunova N.A., Rebezov M.B. Analysis of the Current State and Projected Trends of the Global and Russian Meat Markets: A Comparison of FAO, USDA, and OECD Data. *Agrarian science*. 2026; 411 (10): 134–146 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-134-146>

Введение/Introduction

Являясь критически важным сектором экономики, гарантирующим продовольственную независимость, агропромышленный комплекс характеризуется высокой уязвимостью перед внешними вызовами: климатические сдвиги, системные кризисы глобального характера (пандемия COVID-19, международный финансовый кризис, военные конфликты) и политические изменения [1–9]. Данные проблемы зачастую имеют долгосрочные последствия. В связи с этим особую значимость приобретает разработка и внедрение комплексных механизмов, обеспечивающих устойчивое функционирование АПК [10–14].

В настоящее время отмечается продолжение роста объемов производства продукции животноводства в мировом масштабе¹ [9, 15–17]. При этом ситуация в продовольственной сфере, включая мясной сектор, характеризуется наличием множества новых неопределенностей, главными из которых являются постоянные корректировки правил и способов ведения международной торговой политики, остававшиеся неизменными на протяжении длительного времени. Кроме того, у жителей ряда государств в течение непродолжительного периода времени могут заметно меняться потребительские предпочтения. При этом интересы нескольких групп населения в этой сфере могут кардинально различаться, исходя из внутренних макроэкономических условий в соответствующей стране и других особенностей [9].

Например, при повышении уровня жизни происходит явное смещение потребительских предпочтений на более качественные виды продовольственных товаров. В свою очередь, улучшение структуры потребления стимулирует расширение ассортимента продовольствия. В конечном итоге, эти действия усиливают международную конкуренцию между основными мировыми производителями указанной продукции и вынуждают государства вводить дополнительные протекционистские меры для защиты собственных интересов² [18, 19].

Развитие комплекса производства и переработки мяса в России и повышение его эффективности в условиях нестабильной социально-экономической ситуации в мире напрямую связаны с укреплением сырьевой базы, созданием условий для обеспечения импортозамещения, наращиванием экспортного потенциала и улучшением инфраструктуры [20, 21]. Устойчивое развитие отрасли напрямую определяет формирование продовольственного рынка мяса, продукция которого выступает основным источником животного белка в питании человека [14, 21].

Рынок мяса выполняет роль системообразующего катализатора для животноводства,

ветеринарии, селекции и растениеводства. Он обеспечивает занятость в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, торговле и логистике, что способствует снижению безработицы, привлечению инвестиций и внедрению новых технологий в регионах [22]. Рынок мяса стимулирует развитие сопутствующих отраслей, например, производство тары, упаковки, пищевых добавок, медицинских препаратов, косметических средств и пр. [23].

В связи с этим особую актуальность приобретают научные исследования, связанные с изучением текущих структурных изменений мясного рынка с предметным анализом влияющих на эти процессы факторов. В первую очередь, данный подход должен включать комплексную оценку социально-экономических и производственно-технологических условий, непосредственно связанных с организацией производства мясной продукции на мировом и национальном уровнях. Также существенное значение имеет учет экологических и климатических аспектов [24–26].

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- проведен сопоставительный анализ прогнозов мирового производства мяса по трем ведущим международным источникам (ФАО, USDA, ОЭСР), позволивший количественно оценить расхождения в абсолютных значениях (от 5,7 до 42,9% по отдельным видам мяса) и выявить их причины, связанные с различиями в методиках учета субпродуктов, периодичностью пересмотра данных и учетом потерь при переработке. Установлено, что краткосрочные и долгосрочные тренды могут различаться по направленности (по говядине — сокращение в прогнозе USDA против роста в прогнозе ОЭСР-ФАО);

- выявлены статистически значимые зависимости между динамикой поголовья в трех сегментах российского животноводства (свиноводство, птицеводство, мясное скотоводство) и ключевыми производственными факторами: ценами на комбикорма, объемом импорта племенного материала и уровнем государственных субсидий. Показана высокая отрицательная связь индекса цен на корма с поголовьем свиней ($r = -0,91$) и положительная связь субсидий с поголовьем свиней ($r = +0,67$), что может указывать на высокую чувствительность отрасли к кормовым затратам и потенциальную эффективность мер поддержки;

- установлена заметная корреляция между объемом импорта племенного материала и динамикой поголовья ($r = +0,58$), что обосновывает необходимость дифференцированной поддержки импортозамещения в этом секторе в отличие от свиноводства и птицеводства, где приоритетными являются субсидии на корма и оборотные средства;

¹ FAO. In Brief to The State of Agricultural Commodity Markets 2022. The geography of food and agricultural trade: Policy approaches for sustainable development. Rome, Italy, 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0475en>

² Espitia A., Rocha N., Ruta M. Covid-19 and Food Protectionism: The Impact of the Pandemic and Export Restrictions on World Food Markets World Bank Policy: Research Working Paper. 2020.

– предложен дифференцированный подход к государственной поддержке мясного подкомплекса, учитывающий эластичность отраслей к импорту племенного материала: для свиноводства и птицеводства — акцент на субсидирование кормовой базы и оборотных средств, для мясного скотоводства — поддержка создания собственной племенной базы и импортозамещения.

Материал и методы исследования / Material and methods

В ходе проведения исследования применялись методы сравнительного анализа, экспертных оценок и расчетно-аналитический подход.

Основными источниками сведений для систематизации и оценки динамики прогнозных показателей развития мирового и российского рынков мяса являлись отчеты Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО)³,⁴, Министерства сельского хозяйства США (USDA)⁵, Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР)⁶, а также данные Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации.

Для оценки статистических взаимосвязей применялся коэффициент корреляции Пирсона с использованием данных Росстата, ФТС России, Минсельхоза России и ИКАР за 2018–2025 гг.

Для оценки взаимосвязей между динамикой поголовья сельскохозяйственных животных и ключевыми производственными факторами (цены на комбикорма, импорт племенного материала, объем государственных субсидий) применялся коэффициент корреляции Пирсона. Расчеты выполнялись в среде MS Excel (надстройка «Анализ данных») и на языке Python с использованием библиотеки SciPy (версия 1.12). Временные лаги для цен на корма (от 0 до 6 месяцев) и импорта племенного материала (12 месяцев) определялись эмпирически по максимуму модуля коэффициента корреляции. Статистическая значимость корреляций оценивалась при уровне $p < 0,05$.

Для количественной оценки влияния изменения индекса цен на комбикорма на поголовье свиней применялась регрессионная модель квантилей (Koenker & Bassett, 1978), реализована в библиотеке statsmodels (Python). Модель строилась на квартальных данных за 2018–2025 гг. с временным лагом в один квартал. Для коррекции стандартных ошибок коэффициентов в условиях возможной гетероскедастичности остатков использовался метод бутстрапа с числом итераций $n = 1000$. В разделе «Результаты и обсуждение» приводятся средние оценки изменения поголовья при превышении порогового значения индекса цен (12% за квартал).

При интерпретации результатов необходимо учитывать следующие ограничения:

– корреляционный анализ выполнен на относительно небольшом временном интервале (2018–2025 гг.), что не позволяет в полной мере учесть долгосрочные циклические колебания в животноводстве;

– данные по субсидиям агрегированы на уровне национальных и региональных бюджетов; отсутствует возможность учета индивидуальных субсидий конкретным предприятиям, что может приводить к занижению реальной эффективности мер поддержки;

– прогнозы ФАО, USDA и ОЭСР пересматриваются ежегодно, и их верификация возможна только по прошествии прогнозного периода. Представленные в статье расхождения могут быть скорректированы в следующих выпусках отчетов;

– не учитывались качественные аспекты: возрастная структура стада, породный состав, технологический уровень конкретных хозяйств, а также влияние ветеринарных ограничений (африканская чума свиней, птичий грипп и др.).

Результаты исследования следует рассматривать как индикативные, требующие ежегодной актуализации при поступлении новых статистических данных.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

За последние десятилетия порядок функционирования мирового и национального мясных рынков кардинально изменился. В основном перемены обусловлены глобальными экономическими и социальными процессами, в том числе урбанизацией, нестабильностью правил торговли, увеличением численности населения, изменением уровня доходов и растущим спросом на мясо и мясные изделия [27–31].

Текущее состояние мирового рынка мяса и влияние отдельных стран на объемы его производства

В докладе, подготовленном в ноябре 2025 года, Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) представила следующие показатели мирового производства мяса сельскохозяйственных животных и птицы за 2025 год (табл. 1).

Таблица 1. Мировое производство мяса в убойном весе, млн тонн⁴

Table 1. World meat production in slaughter weight, million tons⁴

Показатели	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Производство — всего	362,1	372,2	378,1	383,5
Говядина	75,4	76,4	78,3	78,0
Свинина	122,7	124,7	125,1	126,3
Мясо птицы	143,1	146,3	150,0	154,4
Баранина	16,7	19,0	18,9	19,1

³ (URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data>)

⁴ Food Outlook. Global Market Analysis, November 2025. (URL: <http://www.fao.org>)

⁵ Livestock and Poultry: World Markets and Trade. (URL: <http://www.fas.usda.gov>)

⁶ Прогноз развития сельского хозяйства ОЭСР-ФАО на 2025–2034 годы. (URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd6043en>)

Примечание к таблицам 1–5: ФАО включает субпродукты и все виды птицы, USDA — только бройлеров без субпродуктов, что объясняет разницу в 20–43%, что соответствует международной статистической практике. Данные Росстата (таблицы 6–7, рисунки 2–4) представлены в живой массе, поскольку отечественная статистика традиционно использует этот показатель. Сравнение абсолютных значений между этими группами данных не производилось ввиду принципиальной разницы в методиках расчета.

Анализ динамики приведенных показателей, демонстрирует тенденцию, что в течение четырех лет (2022–2025 годы) происходил стабильный, хотя и небольшой рост производства почти по всем видам мяса. Так в 2025 году производство мяса крупного рогатого скота снизилось на 0,4% относительно 2024 года. Причина — уменьшение поголовья скота и необходимость его восстановления. Также следует отметить минимальный прирост в 2025 году баранины — около 0,5% к уровню 2024 года. Мировой объем свинины увеличился всего на 1,0% и предполагается, что и в дальнейшем он будет расти благодаря повышению продуктивности животных и эффективности управления производственными процессами. Более высокие темпы прироста зафиксированы в производстве мяса птицы — 2,9%. По прогнозам оно будет увеличиваться в связи с низкими затратами на корма и сохранением устойчивого потребительского спроса, обусловленного относительной доступностью данного вида мяса.

Таким образом, в мировом производстве мяса птицы занимает лидирующую позицию, составляя 40,3% от общего объема. Удельная доля свинины составляет около 33%, а мясо крупного рогатого скота — 20,3%.

Что касается других прогнозов, то Министерство сельского хозяйства США (USDA) в апреле 2026 года представило отчет, в котором приведены показатели производства, потребления, импорта и экспорта основных видов мяса в мире. В этом документе содержатся данные за 2022–2025 годы, а также прогноз на 2026 год⁵.

В приведенных ниже таблицах 2, 3 и 4 отражены итоговые показатели по странам, входящим в официальную базу данных Министерства сельского хозяйства США.

Таблица 2. Производство мяса крупного рогатого скота в мире, тыс. тонн⁴

Table 2. Cattle meat production in the world, thousand tons⁴

Страна	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г. (прогноз)
Бразилия	10 350	10 950	11 850	12 605	12 370
США	12 890	12 287	12 291	11 837	11 741
Китай	7 180	7 530	7 790	8 010	7 600
Страны ЕС	6 772	6 461	6 661	6 410	6 350
Индия	4 350	4 470	4 565	4 680	4 725
Всего в мире	59 365	59 988	61 778	62 248	61 563
Россия	1 350	1 365	1 440	1 410	1 400

В тройке ведущих стран-производителей мяса крупного рогатого скота (КРС) состоят Бразилия, США и Китай. При этом Бразилия занимает 20,2% мирового объема этого сырья, США — 19,0%, Китай — 12,9%. Таким образом, эти три страны совокупно обеспечивают более 52% всего мирового производства мяса КРС (табл. 2).

В 2025 году производство мяса крупного рогатого скота составляло около 62,25 млн тонн. Согласно прогнозам, его мировое производство в 2026 году сократится на 1,1% до 61,56 млн тонн за счет уменьшения объемов переработки в ведущих странах, кроме Индии.

Снижение производства в Бразилии составит около 2% или 12,37 млн тонн против рекордных 12,61 млн тонн в 2025 году. Ожидается, что убой скота сократится, так как производители будут принимать дополнительные меры по сохранению поголовья стада. Осуществление подобного рода мероприятий в течение продолжительного периода времени может существенным образом трансформировать циклы развития животноводства и, соответственно, повлияет на объемы выпуска мясной продукции.

В США ожидается уменьшение производства говядины почти на 1%. Причина — недостаток бычков и телок для откорма. Ситуация усугубляется введенными ограничениями на импорт крупного рогатого скота из Мексики.

Несмотря на высокие цены, объем производства мяса крупного рогатого скота в России остается нестабильным из года в год. Так, в 2025 году снижение составило 2,1%. При этом, на мировом рынке наша страна занимает незначительную долю в размере 2,3%.

Таблица 3 содержит данные о производстве свинины ведущими странами за период с 2022 по 2026 годы.

Согласно последнему отчету USDA, мировое производство свинины в 2026 году достигнет 120,2 млн тонн. Это связано с увеличением производства в США, Бразилии и Китае.

Как следует из приведенных выше показателей, Китай занимает первое место в мире по производству свинины, на его долю приходится почти половина общего мирового объема. Такой высокий показатель объясняется тем, что свинина играет важную роль в рационе питания жителей Китая. По оценке экспертов USDA, в 2026 году

Таблица 3. Производство свинины в мире, тыс. тонн⁴

Table 3. World pork production, thousand tons⁴

Страна	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г. (прогноз)
Китай	55 410	57 940	57 060	59 380	59 500
Страны ЕС	22 277	20 829	21 278	21 950	21 690
США	12 252	12 391	12 611	12 515	12 696
Бразилия	4 350	4 450	4 500	4 750	4 900
Россия	3 910	4 100	4 315	4 340	4 385
Вьетнам	3 313	3 554	3 787	3 935	4 090
Всего в мире	114 604	116 325	116 260	119 513	120 183

производство этого вида мяса в Китае увеличится незначительно по сравнению с прошлым годом — до 59,5 млн тонн.

Производство в странах Европейского Союза столкнется с серьезными вызовами. На уменьшение объемов негативно повлияла вспышка африканской чумы свиней (АЧС) в Испании в конце 2025 года. Прогнозируется, что объем этой продукции снизится на 1,2% до 21,69 млн тонн, поскольку в ЕС в этой сфере деятельности существенно возросли производственные издержки.

Соединенные Штаты занимают третье место в мире по производству свинины и, по прогнозам, выпуск этой продукции составит в 2026 году 12,7 млн тонн. Успех США обусловлен передовыми технологиями в сельском хозяйстве, отлаженной системой логистики и тщательной селекционной работой.

По прогнозам, производство свинины в Бразилии возрастет на 3,2%, что позволит достичь объема в 4,9 млн тонн. Этот прирост связан с устойчивым международным спросом на бразильскую свинину, а также с доступностью кормов, что существенным образом влияет на увеличение собственного производства.

Вьетнам демонстрирует значительный прирост производства свинины — общий объем в 2026 году может составить около 4,1 млн тонн или 103,9% к предыдущему году. Рост обусловлен повышением внутреннего спроса, что, в свою очередь, способствует дальнейшему увеличению поголовья свиней.

Россия входит в пятерку ведущих мировых производителей свинины. Отмена квот и введение таможенных пошлин привели к импортозамещению: в 2020–2023 гг. местные производители нарастили выпуск и продажи, что стимулировало рост внутреннего потребления [32–34].

Доля России в мировом производстве свинины составляет около 3,6%, что в 2025 году соответствовало 4,34 млн тонн. В 2026 году ожидается рост объемов переработки на 101,0%. В целом, российский рынок демонстрирует значительный потенциал для дальнейшего развития. Это подтверждается модернизацией производственных мощностей, внедрением передовых технологий и расширением экспортных возможностей.

Сложившийся в настоящее время уровень конкуренции на мировом рынке свинины в достаточной степени стимулирует производство указанной продукции в соответствующих странах. В конечном итоге, эти факторы способствуют улучшению качества свинины и повышению эффективности отрасли.

Рынок мяса и субпродуктов птицы занимает одно из ключевых мест в глобальной структуре продовольственного рынка, обладая рядом конкурентных преимуществ перед другими видами мяса [21, 35, 36].

В производстве мяса птицы бройлеры занимают ведущую позицию, составляя около 70% рынка.

В таблице 4 представлены данные по объемам выпуска мяса бройлеров в странах, являющихся крупнейшими производителями этой продукции.

В 2026 году мировое производство мяса бройлеров увеличится на 2,5%, достигнув рекордного показателя в 110,73 млн тонн. При этом рост выпуска прогнозируется у всех ключевых стран-производителей.

США продолжают лидировать в производстве этого вида мяса, обеспечивая более 20% от его мирового объема. Согласно прогнозам специалистов, в 2026 году объем рынка в США увеличится почти на 2% и составит 22,19 млн тонн. Этот рост будет обусловлен снижением стоимости кормов и отсутствием крупных вспышек птичьего гриппа.

Китай находится на втором месте в мире по производству мяса бройлеров и в 2026 году объемом производства этого вида мяса вырастит до 17,3 млн тонн. Прирост по сравнению с прошлым годом составит 4,8% (предварительные данные USDA). Это связано с тем, что крупные вертикально интегрированные компании Китая продолжают расширять свои производственные мощности, несмотря на невысокую прибыльность отрасли.

Бразилия также планирует значительно увеличить собственное производство, достигнув показателя в 15,8 млн тонн, что эквивалентно росту на 102,3%. Рост обусловлен снижением себестоимости сырья, девальвацией национальной валюты и увеличением спроса на указанный вид продукции на международных рынках по мере расширения глобальных экономических связей.

В 2026 году производство мяса птицы в Европейском союзе ожидается с умеренным приростом на 1,3%. Этот рост возможен исходя из значительного снижения числа вспышек высокопатогенного птичьего гриппа в ключевых странах-производителях. Помимо этого, сохранение стабильного внутреннего спроса на этот вид мяса также способствует увеличению объемов продукции птицеводства.

За 2017–2022 гг. Россия значительно нарастила экспорт мяса птицы. Это соответствует общемировому тренду, где доминирует производство мяса домашней птицы [15]. В настоящее время Россия занимает пятую позицию среди крупнейших стран-производителей этого вида мяса, ее доля в мировом производстве составляет 4,6%. В 2026 году рост объемов будет в пределах 1,5%.

Таблица 4. Производство мяса бройлеров в мире, тыс. тонн⁴

Table 4. Production of broiler meat in the world, thousand tons⁴

Страна	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г. (прогноз)
США	20 994	21 082	21 343	21 773	22 190
Китай	14 300	14 800	15 350	16 500	17 300
Бразилия	14 465	14 900	15 000	15 450	15 800
Страны ЕС	10 880	11 040	11 735	12 090	12 250
Россия	4 800	4 825	4 920	4 995	5 070
Мексика	3 763	3 888	3 990	4 153	4 285
Всего в мире	102 289	103 819	104 399	107 985	110 728

Прогноз дальнейшего развития мирового рынка мяса

Сопоставительный анализ оценок ФАО и USDA за 2025 г.

Для количественной оценки методических различий сопоставлены итоговые показатели мирового производства по данным ФАО (табл. 1) и USDA (табл. 2–4) за 2025 г. Выявлены следующие расхождения: по говядине — 78,0 млн т (ФАО) против 62,2 млн т (USDA), относительная разница составляет +25,4% (данные USDA ниже на 20,3% относительно ФАО); по свинине — 126,3 млн т против 119,5 млн т (+5,7% или -5,4% относительно USDA); по мясу птицы — 154,4 млн т против 108,0 млн т (+42,9% или -30,0% относительно USDA). Столь значительные различия обусловлены прежде всего разными методиками учета: ФАО включает субпродукты и все виды домашней птицы, тогда как USDA учитывает только мясо бройлеров в весе тушки без субпродуктов.

При стратегическом планировании и оценке конкурентоспособности российской мясной продукции на внешних рынках целесообразно учитывать различия в методологии учета. Данные USDA, отражающие объемы чистого производства мяса птицы (без субпродуктов), более релевантны для анализа международной торговли, поскольку основу коммерческих поставок составляет мышечная ткань без субпродуктов и технических частей тушки. При оценке внутренней продовольственной безопасности и фактического потребления населением предпочтение следует отдавать данным ФАО, которые включают все виды мяса домашней птицы и субпродукты, используемые в рационе. Для России, занимающей пятое место в мире по производству мяса птицы (4,6% мирового объема по данным ФАО), данное различие имеет практическое значение: при разработке экспортных стратегий и прогнозировании ценовой конъюнктуры необходимо опираться на показатели USDA, тогда как для мониторинга обеспечения внутреннего рынка и оценки уровня самообеспеченности — на данные ФАО. Рекомендательный дифференцированный подход позволит избежать систематических ошибок при сопоставлении позиций России с ведущими экспортерами (США, Бразилия, Китай) и повысит обоснованность управленческих решений в сфере агропромышленной политики.

Данные ОЭСР-ФАО на 2025 г. в открытых отчетах не публикуются в виде агрегированных мировых итогов, поэтому их прямое сопоставление в настоящей работе не выполнено. Прогноз ОЭСР-ФАО до 2034 г. рассматривается отдельно (рис. 1, табл. 5).

Прогноз дальнейшего развития мирового рынка мяса

Согласно прогнозам ФАО и ОЭСР⁶, мировое производство мяса вырастет на 10% или на 36,73 млн тонн, достигнув в 2034 году приблизительно 406,05 млн тонн убойного веса.

Основным драйвером роста станет увеличение объемов переработки птицы на 114,5% (рис. 1). Этот тренд отражает растущую популярность мяса птицы в рационе населения в целом ряде стран. Птица имеет преимущества перед другими видами мяса благодаря коротким производственным циклам, низким затратам и возможности выращивания вблизи крупных городов. Экологические факторы также стимулируют переход на этот вид мяса, так как выращивание крупного рогатого скота требует значительно больше производственных, финансовых и иных ресурсов и связано с выделением существенного количества парниковых газов [37, 38].

В ближайшие годы планируется увеличение производства мяса крупного рогатого скота на 110,6%. Этот рост обусловлен увеличением массы туш, расширением рынка сбыта, повышением генетического потенциала и оптимизацией управления стадом. Ожидается, что в 2034 году мировое производство может достигнуть примерно 84 млн тонн.

В прогнозируемый период ожидается восстановление производства свинины после вспышек африканской чумы свиней, особенно в азиатских странах. Однако объем производства свинины увеличится всего на 3,6% к 2034 году и достигнет 129,6 млн тонн.

В 2034 году мировое производство баранины достигнет 19,35 млн тонн, что на 14,5% больше показателя 2025 года. Увеличение будет обусловлено восстановлением поголовья мелкого рогатого скота.

Лидеры по производству мяса в мире — это Китай, занимающий 26,3% рынка, США — с долей в 13,0%, страны ЕС, на которые приходится 11,3% мирового производства мяса (табл. 5).

Рис. 1. Прогноз производств мяса по видам, млн тонн. Источник: составлено авторами по данным ОЭСР-ФАО (2025–2034)

Fig. 1. Forecast of meat production by type, million tons. Source: compiled by the authors based on OECD-FAO data (2025–2034)

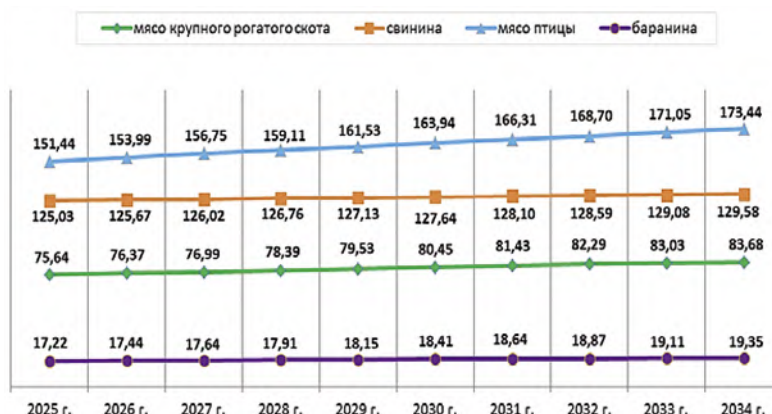


Таблица 5. Крупнейшие страны по производству мяса⁷
Table 5. Largest meat producing countries⁷

Страна	2025 год		2034 год		Изменение, %
	млн тонн	уд. вес, %	млн тонн	уд. вес, %	
Мясо крупного рогатого скота					
США	11,48	15,2	12,36	14,8	107,7
Бразилия	9,20	12,2	9,41	11,2	102,3
Китай	7,88	10,4	8,71	10,4	110,5
Страны ЕС	6,56	8,7	6,32	7,6	96,3
Индия	4,71	6,2	5,43	6,5	115,3
Россия	1,68	2,2	1,57	1,9	93,5
Свинина					
Китай	57,07	45,6	57,08	44,1	100,0
Страны ЕС	20,75	16,6	20,19	15,6	97,3
США	12,61	10,1	12,88	9,9	102,1
Бразилия	5,28	4,2	5,72	4,4	108,3
Россия	5,00	4,0	5,37	4,1	107,4
Вьетнам	3,81	3,0	4,88	3,8	128,1
Мясо птицы					
Китай	26,85	17,7	28,39	16,4	105,7
США	23,75	15,7	25,93	15,0	109,2
Бразилия	15,59	10,3	17,03	9,8	109,2
Страны ЕС	13,99	9,2	14,20	8,2	101,5
Россия	5,43	3,6	5,70	3,3	105,0
Индия	5,47	3,6	7,78	4,5	142,2
Баранина					
Китай	5,37	31,2	5,69	29,4	106,0
Пакистан	0,85	4,9	1,01	5,2	118,8
Австралия	0,84	4,9	0,89	4,6	106,0
Индия	0,84	4,9	0,88	4,5	104,8
Турция	0,78	4,5	0,89	4,6	114,1
Страны ЕС	0,56	3,3	0,55	2,8	98,2

В 2025 году США, Бразилия, Китай и Европейский Союз обеспечивали более 46% мирового производства говядины и телятины. Предполагается, что в 2034 году доля этих стран снизится до 44%. Одновременно Индия и Китай продемонстрируют существенный прирост производства мяса крупного рогатого скота на 15,3% и 10,5% соответственно.

Развитие технологий в сфере мясопереработки и оптимизация логистических цепочек с использованием холодильного оборудования значительно повышают эффективность производства и улучшают качество продукции на мясном рынке. Важную роль в этом процессе играет государственная поддержка производителей мяса в части предоставления им различных льгот и субсидий.

В то же время ожидается, что темпы производства снизятся в странах ЕС на 3,7% за рассматриваемый период времени.

В России с 2025 по 2034 годы ожидается снижение объемов производства мяса крупного рогатого скота на 6,5% при объеме производства 1,57 млн тонн. Ученые отмечали, что для обеспечения продовольственной безопасности страны развитие мясного скотоводства имеет важное значение [39–42].

В 2025 году Китай, страны ЕС и США контролировали более 72% мирового производства свинины. По прогнозу, в 2034 году доля этих стран снизится до 69,6%, особенно заметно сокращение в ЕС (-2,7%). Наибольший прирост производства свинины ожидается во Вьетнаме (+28,1%).

Россия занимает пятое место среди стран, вырабатывающих свинину. Ожидается, что объем переработки свинины вырастет к 2034 году на 7,4%, достигнув 5,37 млн тонн.

В настоящее время Китай, США и Бразилия являются ведущими производителями мяса птицы, на долю которых приходится почти 44% мирового объема. В Индии ожидается значительный рост производства — в 1,4 раза. Кроме того, Бразилия и США также продемонстрируют большой прирост на 9,2%.

В 2034 году Россия может занять шестое место в этой отрасли, уступив Индии по темпам роста объемов в переработке мяса птицы. В результате удельный вес нашей страны в мировом производстве составит 3,3%.

Что касается мирового производства баранины, то Китай планирует увеличить свои объемы почти на 6%, так как будет постепенно переходить на разведение мясных пород овец. Существенно нарастят свое производство Пакистан и Турция — на 18,8% и 14,1% соответственно. В странах ЕС переработка снизится на 1,8%, несмотря на финансовую поддержку, оказываемую основным странам, которые занимаются разведением овец.

Основными тенденциями на прогнозируемый период времени станут технологические инновации, которые существенно изменят и улучшат процесс производства мяса. Помимо этого, применение новейшего оборудования в производстве мясной продукции поможет соответствовать стандартам безопасности и законодательным нормам.

Также важным направлением станет максимальная автоматизация и внедрение робототехники в производственные процессы. Это позволит оптимизировать операции, повысить производительность и снизить расходы на оплату труда. Кроме того, технологические достижения позволят осуществлять мониторинг и контроль качества мясных продуктов на всех этапах их доставки в реальном времени благодаря системам данных, штрих-кодам и RFID-технологии.

В свою очередь, развитие инноваций и технологий имеет большое значение для устойчивого развития животноводства. Применение методов генной инженерии, цифровых технологий, искусственного интеллекта, развитие технологий «точного животноводства» будет направлено на улучшение условий содержания животных, повышение продуктивности и сохранение экологической устойчивости.

⁷ Примечание: данные табл. 5 — прогноз ОЭСР-ФАО, табл. 2–4 — прогноз USDA, различия обусловлены разными методиками учёта

Перспективы развития рынка мяса в России

Российский рынок мяса в 2025 году демонстрировал снижение темпов роста производства при одновременном усилении структурных изменений. Согласно данным Росстата, производство на убой основных видов скота и птицы в хозяйствах всех категорий составило 16,87 млн тонн в живой массе, что на 0,2% меньше показателя 2024 года (16,91 млн тонн)⁸ [17]. Рост производства наблюдался только в поставках на убой птицы (101,6%) (рис. 2).

Наибольшее сокращение объемов отмечалось в переработке крупного рогатого скота на 4,2%, мелкого рогатого скота — на 4,4% по сравнению с показателями 2024 года. Производство свиней на убой также уменьшилось на 0,2%.

Тем не менее, следует отметить, что рынок мяса и мясoproductов в России занимает в настоящее время одно из ведущих мест среди динамично развивающихся сегментов отечественного продовольственного сектора. Одним из основополагающих факторов этого положения, является постановка государством стратегической цели — обеспечить население качественными продуктами питания, включая мясо и мясную продукцию [39, 43].

Сельскохозяйственные организации считают главными поставщиками скота и птицы на убой. В 2025 году они произвели около 13,88 млн тонн, которые обеспечили 82,3% основного объема мясного сырья (табл. 6).

При этом, в хозяйствах населения и фермерских хозяйствах производство скота и птицы на убой снизилось на 5,7% и 2,9% соответственно.

Лидером по производству является Центральный федеральный округ (рис.3). В 2025 году его доля в объеме переработки скота и птицы в хозяйствах всех категорий составила 39,4% (6,65 млн тонн). Приволжский ФО находится на второй позиции с объемом производства 3,62 млн тонн или 21,5%. Далее следует Южный ФО, удельный вес которого 9,0% или 1,52 млн тонн скота и птицы на убой в живой массе.

Переработка крупного рогатого скота сосредоточена в Приволжском и Центральном федеральных округах, где разводится 47,5% от всего объема данного вида скота (27,1% — 0,75 млн тонн, 20,4% — 0,56 млн тонн соответственно).

Производство свиней в живой массе сконцентрировано в Центральном ФО, доля которого составляет 53,5% или 3,35 млн тонн. Второе место по объемам переработки свиней на убой принадлежит Приволжскому ФО (16,3% или 1,02 млн тонн).

Основной объем производства мяса мелко-го рогатого скота (овец и коз) обеспечивают Северо-Кавказский (37,3%) и Южный (28,4%) федеральные округа.

По производству мяса птицы лидерство сохраняет Центральный ФО с долей 37,0% и

Рис. 2. Производство скота и птицы на убой в хозяйствах всех категорий, тыс. тонн живой массы

Fig. 2. Livestock and poultry production for slaughter in farms of all categories, thousand tons of live weight

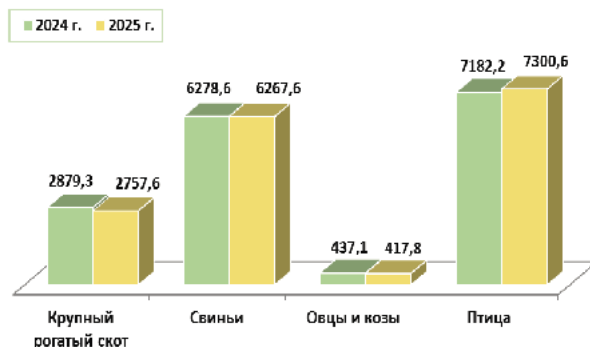


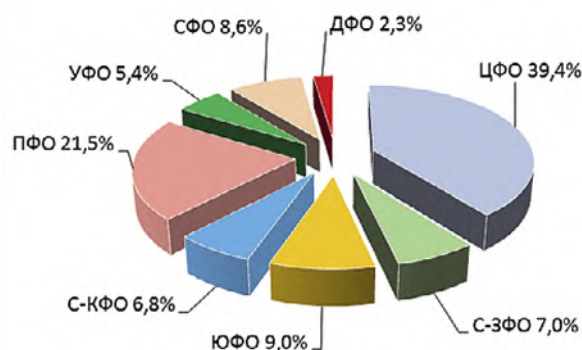
Таблица 6. Производство скота и птицы на убой в сельскохозяйственных организациях

Table 6. Production of livestock and poultry for slaughter in agricultural organizations

Показатель	2024 г.	2025 г.	%
Всего, тыс. тонн	13754,1	13878,8	100,9
крупный рогатый скот	1166,5	1125,5	96,5
свиньи	5842,0	5869,4	100,5
овцы и козы	40,6	37,0	91,2
птица	6678,2	6820,8	102,1
прочие виды скота	26,8	26,1	97,4

Рис. 3. Структура производства скота и птицы по федеральным округам

Fig. 3. Structure of livestock and poultry production by federal districts



объемом 2,7 млн тонн в живой массе. На втором месте — Приволжский ФО (24,1%), что составляет 1,76 млн тонн.

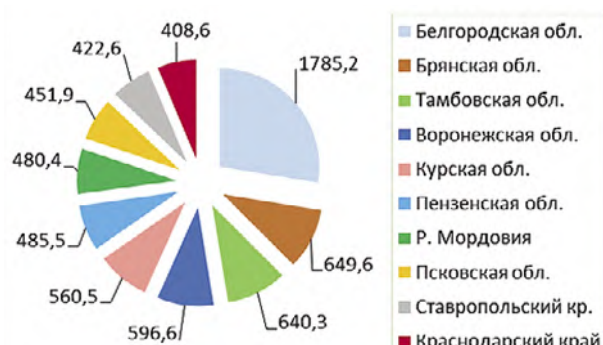
Объемы производства в разных регионах России распределены крайне неравномерно. Это зависит не только от географических и климатических факторов, но и от наличия крупных предприятий по убою и переработке сельскохозяйственного сырья. Кроме того, содержанием и выращиваем скота и птицы занимаются сельскохозяйственные организации, удельный вес которых составляет по численности птицы 86,9% и 94,8% — по поголовью свиней.

На рис. 4 представлены крупнейшие регионы по производству всех видов убойного скота и птицы в живой массе.

⁸ Федеральная служба государственной статистики России (URL: <http://www.gks.ru/>)

Рис. 4. Производство скота и птицы на убой в крупнейших регионах РФ, тыс. тонн живой массы

Fig. 4. Production of livestock and poultry for slaughter in the largest regions of the Russian Federation, thousand tons of live weight



В 2025 году сельскохозяйственные организации в указанных выше регионах произвели на убой 6,48 млн тонн скота и птицы, что составило 46,7% от общего объема в хозяйствах данной категории по стране.

В основу перспектив дальнейшего развития мясного подкомплекса до 2030 года были положены социально-экономические прогнозы Минэкономразвития России и национальные доклады Минсельхоза России о ходе и результатах реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия.

Кроме того, учитывая текущие объемы мясного производства, продвижение экспортных поставок, рост внутреннего спроса на мясо можно ожидать дальнейшее замедление темпов роста в ключевых секторах животноводства.

В табл. 7 представлено развитие животноводства на краткосрочный и долгосрочный периоды.

В текущем году производство скота и птицы в хозяйствах всех категорий может вырасти примерно на 0,8% по сравнению с 2025 годом.

Исходя из приведенных в таблице 7 данных, за пять лет объемы переработки птицы могут вырасти на 10,5%, свиней — на 9,2%, крупного рогатого скота — на 5,2%, а в целом прирост составит около 9% к 2025 году.

Для количественной оценки влияния основных производственных факторов на динамику

поголовья и объемов производства мяса в России проведен корреляционный анализ за период 2018–2025 гг. Для импорта племенного материала использован лаг в 12 месяцев, для цен на корма — лаг 3 месяца (по данным предварительного регрессионного анализа).

Установлено, что для свиноводства характерна весьма высокая отрицательная корреляция между индексом цен на комбикорма (с временным лагом 3 месяца) и изменением поголовья свиней ($r = -0,91$, $p < 0,01$). Это свидетельствует о тесной сопряженности динамики поголовья и цен на корма, что может указывать на высокую чувствительность отрасли к кормовым затратам (при условии, что цены на корма являются экзогенным фактором). В то же время объем государственных субсидий на поддержку племенного животноводства (без временного лага) положительно коррелирует с поголовьем свиней ($r = +0,67$, связь заметная), что свидетельствует об эффективности мер государственной поддержки.

Для производства мяса домашней птицы выявлена умеренная отрицательная связь между стоимостью кормов (с лагом 3 месяца) и объемом производства ($r = -0,48$, $p < 0,05$), что объясняется более низкой кормоемкостью по сравнению со свиноводством. Импорт племенного яйца и суточных цыплят (с лагом 12 месяцев) показал слабую корреляцию с последующей динамикой поголовья птицы ($r = +0,22$, $p > 0,05$), что говорит о достаточности собственных племенных ресурсов.

Методом регрессионных квантилей установлено, что при росте индекса цен на комбикорма более чем на 12% за квартал поголовье свиней в следующем квартале снижается в среднем на 2,3% ($p < 0,05$).

В мясном скотоводстве выявлена заметная положительная корреляция между объемом импорта племенного материала (бычки мясных пород, с лагом 12 месяцев) и изменением поголовья ($r = +0,58$, $p < 0,05$). Однако субсидии на содержание маточного поголовья (без временного лага) показали лишь слабую корреляцию с конечным производством говядины ($r = +0,19$), что может указывать на недостаточный уровень финансирования или неэффективность механизмов доведения субсидий до отечественных сельхозтоваропроизводителей.

Вместе с тем, в условиях увеличения производства свинины и птицы открываются новые экспортные возможности с выходом на внешние рынки государств Юго-Восточной Азии. Это происходит потому, что внутренний рынок мяса уже полностью обеспечивает себя свининой и мясом птицы.

В мясном комплексе России, несмотря на повышение объемов производства продукции и экспортного потенциала, сохраняются ряд достаточно сложных проблем. Так, со стороны более 60 зарубежных государств

Таблица 7. Динамика производства скота и птицы на убой в живой массе

Table 7. Dynamics of livestock and poultry production for slaughter in live weight

	2025 г. факт.	2026 г. прогноз	2027 г. прогноз	2028 г. прогноз	2030 г. прогноз
ВСЕГО, тыс. тонн	16 872,1	17 000	17 250	17 790	18 400
крупный рогатый скот	2757,6	2710	2730	2800	2900
свиньи	6267,6	6340	6450	6635	6845
мелкий рогатый скот	417,8	418	430	430	450
птица	7300,6	7405	7510	7795	8065
прочие виды скота	128,5	127	130	130	140

Примечание: Источник: составлено авторами на основе прогнозов Минэкономразвития России и Минсельхоза России

в отношении России продолжают действовать санкции персонального, финансового и технологического характера, что привело к существенному сокращению возможностей закупки определенных видов импортного оборудования для мясной отрасли [44, 45].

Среди других трудностей следует выделить:

- нестабильность курса валют и обусловленное этим фактором усиление инфляционных процессов;
- угрозы здоровью животных, связанные с ухудшением эпизоотической ситуации;
- повышение конкуренции со стороны ведущих производителей на международном рынке;
- значительные расходы на корма, производство и закупку ветеринарных средств и сохранение племенной базы.

Для усиления государственной поддержки мясоперерабатывающей промышленности целесообразно принять комплекс мер, включающих:

- дополнение перечня налоговых льгот для основных категорий предпринимателей, осуществляющих производство качественной и конкурентоспособной мясной продукции;
- увеличению объемов субсидий и льготных кредитов для производителей и переработчиков мясного сырья;
- введение целевых инвестиционных кредитов на строительство и модернизацию животноводческих объектов и мясоперерабатывающих предприятий.

Также рекомендуется упростить порядок привлечения частных инвесторов в развитие мясной отрасли, ориентируясь на использование получаемых средств главным образом — на внедрение новых технологий и расширение производственных мощностей [46–48].

Кроме того, необходимо учитывать, что в нынешних сложных условиях международного сотрудничества и необходимости обеспечивать взаимовыгодные экономические связи на новой основе, существенно возрастает роль научного прогнозирования в части дальнейшего развития отечественного мясного рынка с учетом его особого значения в обеспечении продовольственной безопасности России [49–51].

Выводы/Conclusion

Научные исследования объективного состояния региональных, национальных и глобальных рынков мяса, включая аналитические прогнозы о перспективах их развития, представляют не

только информационный интерес. Результаты такого рода исследования *имеют практическую значимость*, поскольку способствуют выявлению текущих проблем и определению конкретных путей их решения.

В свою очередь, подобный подход к реализации предложений, содержащихся в соответствующих научных работах, позволяет уже на ранних этапах предпринять необходимые превентивные меры по предотвращению негативных событий в ближайшем будущем в части, касающейся продовольственной сферы, включая мясной рынок.

На основе проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

- прогнозы мирового производства мяса на 2026–2034 гг., представленные ФАО, USDA и ОЭСР, различаются как абсолютными значениями (по данным за 2025 г. расхождения между ФАО и USDA составили от 5,7% по свинине до 42,9% по мясу птицы), так и направленностью трендов (например, по говядине — сокращение в краткосрочном прогнозе USDA против роста у ОЭСР-ФАО). Причина — различия в методиках учета, периодичности пересмотра данных и включении/исключении субпродуктов;

– мясо домашней птицы остается доминирующим сегментом (40% мирового производства), что обусловлено более низкими кормовыми затратами, коротким производственным циклом, адаптивностью к промышленным условиям и др.;

– Российская Федерация занимает устойчивые позиции в мировом производстве свинины (5-е место, около 3,6%) и мяса птицы (5-е место, около 4,6%) в пересчете на убойный вес. Однако производство говядины демонстрирует некоторую отрицательную динамику (снижение на 6,5% к 2034 г. по долгосрочному прогнозу ОЭСР-ФАО), что связано с сокращением поголовья КРС и недостаточной племенной базой. Для сравнения: краткосрочный прогноз USDA на 2026 г. предполагает объем производства говядины в России на уровне 1,4 млн т, что соответствует падению на 0,7% относительно 2025 г., однако эти данные не являются взаимоисключающими, поскольку отражают разные временные горизонты и методики учета;

– сдерживают модернизацию мясной отрасли масштабные экономические и персональные санкции против России, волатильность валютного курса и рост стоимости импортного оборудования (в том числе для глубокой переработки продукции животного происхождения).

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 научно-исследовательских работ № FGUS-2024-0001 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук

FUNDING

The article was prepared as part of the research carried out under state assignment No. FGUS-2024-0001 of the Gorbатов Research Center for Food Systems

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Кузьякина Ю.А., Замула В.С., Кузнецова О.А., Ребезов М.Б., Петрунина И.В., Горбунова Н.А. Мясная промышленность России в области устойчивого развития. *Пищевые системы*. 2025; 8(4): 607–615. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-4-607-615>
- Lai Y., Du R., He J., Zhou J., Yao L. Vicious cycle or virtuous feedback? Revisiting the impact of climate risk on agricultural carbon emissions in China. *Climate Smart Agriculture*. 2025; 2(3): 100065. <https://doi.org/10.1016/j.csag.2025.100065>
- Mao H., Sun Z., Chai A., Fang L., Shi C. Extreme Weather, agricultural insurance and farmer's climate adaptation technologies adoption in China. *Ecological Economics*. 2025; 228: 108456. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108456>
- Croffils C., Gallic E., Vermandel G. The dynamic effects of weather shocks on agricultural production. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2025; 130: 103078. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.103078>
- Yao P., Fan H., Wu Q., Ouyang J., Li K. Compound impact of COVID-19, economy and climate on the spatial distribution of global agriculture and food security. *Science of The Total Environment*. 2023; 880: 163105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163105>
- Iuga I.C., Mudakkar S.R., Dragolea L.L. Agricultural commodities market reaction to COVID-19. *Research in International Business and Finance*. 2024; 69: 102287. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102287>
- Xu Y., Huang W., Zhang C.Y. Navigating international competition with ESG: Insights from the US-China trade war. *Research in International Business and Finance*. 2024; 70(B): 102364. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102364>
- Sha F., Meng J., Zheng X., Jiang Y. Sustainability under fire: How China-US tensions impact corporate ESG performance?. *Finance Research Letters*. 2025; 85(A): 107882. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107882>
- Demichev V., Dashieva B., Filatov I. Characterization of Russian regions by variation in average temperature, precipitation, and agricultural development. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2024; 56(2): 616–627. <https://doi.org/10.54910/sabao2024.56.2.14>
- Zolkin A.L., Matvienko E.V., Shmoilov A.N., Rudnev S.G., Urusova A.B. Development of scientific potential and introduction of innovative solutions to ensure competitiveness and further development of the agro-industrial complex of Russia. *E3S Web of Conference*. 2024; 486: 01001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448601001>
- Колчин С.П., Осянин Д.Н. Устойчивое развитие мясоперерабатывающих предприятий: путь к успеху в будущем. *Мясная индустрия*. 2024; (9): 40–42. EDN MYSHYQ
- Красюкова Н.Л. Использование блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок. *Аграрная наука*. 2025; (6): 167–171. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171>
- Kuzlyakina Yu.A., Zamula V.S., Kuznetsova O.A. Analysis of agriculture sustainable development in Russia. *Theory and practice of meat processing*. 2023; 8(2): 93–99. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-2-93-99>
- Кондратьева Н.Н. Современное состояние и тенденции производства и потребления мяса: региональный аспект. *Вестник НГИЭИ*. 2025; (11): 91–100. EDN UPELH
- Хайруллина О.И. Анализ состояния и перспектив роста российского экспорта мяса. *Продовольственная политика и безопасность*. 2023; 10(1): 191–206. <https://doi.org/10.18334/ppib.10.1.117021>
- Силаков А.В., Силакова В.В., Гаврилова Н.Г. Глобальное производство мяса: структурные изменения, географические сдвиги и африканский парадокс. *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2026; (5-1): 111–120. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2026.05.01.11>
- Eremeeva N.A., Latynina E.S., Sherstyuk M.V., Grachev A.B., Chekmarev V.V. Объемы, структура и тенденции глобального производства мяса. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2025; (12): 173–179. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-12-173-179>
- Olney D.K., Gelli A., Kumar N., Alderman H., Go A., Raza A. Social assistance programme impacts on women's and children's diets and nutritional status. *Maternal & Child Nutrition*. 2022; 18(4): e13378. <https://doi.org/10.1111/mcn.13378>
- Götz L., Heigermoser M., Jaghdani T.J. Russia's Food Security and Impact on Agri-Food Trade. Wegren S.K., Nilssen F. (eds.). *Russia's Role in the Contemporary International Agri-Food Trade System*. Cham: Palgrave Macmillan. 2022; 115–137. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77451-6_5
- Rodionova I.A., Eryushev M.V., Toropova V.V., Zueva E.I. Современное состояние и приоритеты устойчивого развития мясопродуктового подкомплекса. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2022; 18(2): 277–299. <https://doi.org/10.24891/ni.18.2.277>
- Капишиников А.М., Воробьева Н.В. Перспективы российского экспорта мясной продукции из птицы в новых геополитических условиях. *Аграрный вестник Урала*. 2025; 25(1): 117–133. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-117-133>
- Молибога Е.А., Леушкина В.В., Аракчеева К.П. Рынок мяса России в условиях санкций: современные тенденции. *Продовольственная политика и безопасность*. 2026; 13(1): 211–228. <https://doi.org/10.18334/ppib.13.1.124559>
- Petrutina I.V., Gorbunova N.A. Использование модели экономики замкнутого цикла в отдельных отраслях агропромышленного комплекса. *Пищевые системы*. 2024; 7(2): 231–237. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-231-237>
- Ivanchikov A.O. Тенденции развития мирового рынка мясной продукции. *Журнал монетарной экономики и менеджмента*. 2024; (12): 178–181. <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.81.63.172>
- Хайруллина О.И. Анализ состояния и прогноз развития мясного рынка. *Продовольственная политика и безопасность*. 2024; 11(3): 663–680. <https://doi.org/10.18334/ppib.11.3.120741>
- Kim S., Park K.-H., Park S.-J., Park Y.-G., Moon S.-H. Cultivated Meat and the Future of Food Systems: Promise, Progress, and Challenges. *Food Science & Nutrition*. 2026; 14(4): e71725. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71725>
- Osinina A.Yu. Структурные изменения на мировом рынке мяса: последствия для России. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2024; (9): 140–150. <https://doi.org/10.33938/249-140>

REFERENCES

- Kuzlyakina Yu.A., Zamula V.S., Kuznetsova O.A., Rebezov M.B., Petrunina I.V., Gorbunova N.A. Russian meat industry in the area of sustainable development. *Food systems*. 2025; 8(4): 607–615 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-4-607-615>
- Lai Y., Du R., He J., Zhou J., Yao L. Vicious cycle or virtuous feedback? Revisiting the impact of climate risk on agricultural carbon emissions in China. *Climate Smart Agriculture*. 2025; 2(3): 100065. <https://doi.org/10.1016/j.csag.2025.100065>
- Mao H., Sun Z., Chai A., Fang L., Shi C. Extreme Weather, agricultural insurance and farmer's climate adaptation technologies adoption in China. *Ecological Economics*. 2025; 228: 108456. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108456>
- Croffils C., Gallic E., Vermandel G. The dynamic effects of weather shocks on agricultural production. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2025; 130: 103078. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.103078>
- Yao P., Fan H., Wu Q., Ouyang J., Li K. Compound impact of COVID-19, economy and climate on the spatial distribution of global agriculture and food security. *Science of The Total Environment*. 2023; 880: 163105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163105>
- Iuga I.C., Mudakkar S.R., Dragolea L.L. Agricultural commodities market reaction to COVID-19. *Research in International Business and Finance*. 2024; 69: 102287. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102287>
- Xu Y., Huang W., Zhang C.Y. Navigating international competition with ESG: Insights from the US-China trade war. *Research in International Business and Finance*. 2024; 70(B): 102364. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102364>
- Sha F., Meng J., Zheng X., Jiang Y. Sustainability under fire: How China-US tensions impact corporate ESG performance?. *Finance Research Letters*. 2025; 85(A): 107882. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107882>
- Demichev V., Dashieva B., Filatov I. Characterization of Russian regions by variation in average temperature, precipitation, and agricultural development. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2024; 56(2): 616–627. <https://doi.org/10.54910/sabao2024.56.2.14>
- Zolkin A.L., Matvienko E.V., Shmoilov A.N., Rudnev S.G., Urusova A.B. Development of scientific potential and introduction of innovative solutions to ensure competitiveness and further development of the agro-industrial complex of Russia. *E3S Web of Conference*. 2024; 486: 01001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448601001>
- Kolchin S.P., Osyannin D.N. Sustainable development of meat processing enterprises: A way to success in the future. *Meat Industry*. 2024; (9): 40–42 (in Russian). EDN MYSHYQ
- Krasyukova N.L. Using blockchain technology and big data to ensure the traceability and sustainability of agri-food supply chains. *Agrarian science*. 2025; (6): 167–171 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171>
- Kuzlyakina Yu.A., Zamula V.S., Kuznetsova O.A. Analysis of agriculture sustainable development in Russia. *Theory and practice of meat processing*. 2023; 8(2): 93–99. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-2-93-99>
- Kondratieva N.N. Current state and trends in meat production and consumption: regional aspect. *Bulletin NGIEI*. 2025; (11): 91–100 (in Russian). EDN UPELH
- Khayrullina O.I. Analysis of the status and growth prospects of Russian meat exports. *Food Policy and Security*. 2023; 10(1): 191–206 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.10.1.117021>
- Silakov A.V., Silakova V.V., Gavrilova N.G. Global meat production: structural changes, geographical shifts, and the African paradox. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2026; (5-1): 111–120 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2026.05.01.11>
- Eremeeva N.A., Latynina E.S., Sherstyuk M.V., Grachev A.B., Chekmarev V.V. Volumes, structure and trends of global meat production. *Economics of agricultural and processing enterprises*. 2025; (12): 173–179 (in Russian). <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-12-173-179>
- Olney D.K., Gelli A., Kumar N., Alderman H., Go A., Raza A. Social assistance programme impacts on women's and children's diets and nutritional status. *Maternal & Child Nutrition*. 2022; 18(4): e13378. <https://doi.org/10.1111/mcn.13378>
- Götz L., Heigermoser M., Jaghdani T.J. Russia's Food Security and Impact on Agri-Food Trade. Wegren S.K., Nilssen F. (eds.). *Russia's Role in the Contemporary International Agri-Food Trade System*. Cham: Palgrave Macmillan. 2022; 115–137. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77451-6_5
- Rodionova I.A., Eryushev M.V., Toropova V.V., Zueva E.I. Meat production of Russia: The state-of-the-art and priorities of sustainable development. *National Interests: Priorities and Security*. 2022; 18(2): 277–299 (in Russian). <https://doi.org/10.24891/ni.18.2.277>
- Kapishnikov A.M., Vorobyeva N.V. Prospects for Russian exports of poultry meat products in new geopolitical conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25(1): 117–133 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-117-133>
- Moliboga E.A., Leushkina V.V., Arakcheeva K.P. Russian meat market under sanctions current trends. *Food Policy and Security*. 2026; 13(1): 211–228 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.13.1.124559>
- Petrutina I.V., Gorbunova N.A. Using the model of closed-loop economy in certain branches of the agro-industrial complex. *Food systems*. 2024; 7(2): 231–237 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-231-237>
- Ivanchikov A.O. Trends in the development of the global meat market. *Journal of Monetary Economics and Management*. 2024; (12): 178–181 (in Russian). <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.81.63.172>
- Khayrullina O.I. Current state and forecast of the meat products market development. *Food Policy and Security*. 2024; 11(3): 663–680 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.11.3.120741>
- Kim S., Park K.-H., Park S.-J., Park Y.-G., Moon S.-H. Cultivated Meat and the Future of Food Systems: Promise, Progress, and Challenges. *Food Science & Nutrition*. 2026; 14(4): e71725. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71725>
- Osinina A.Iu. Structural changes in the world meat market: consequences for Russia. *Economy, labor, management in agriculture*. 2024; (9): 140–150 (in Russian). <https://doi.org/10.33938/249-140>

28. Хабиб М.Д., Тюнкова В.В., Теплякова М.Ю. Основные тенденции в потреблении мясной продукции населением Российской Федерации. *Вестник университета*. 2025; (6): 175–186. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2025-6-175-186>
29. Письменный П.А. Состояние рынка мясной продукции в Российской Федерации. *Академическая публицистика*. 2025; (6-2): 48–52. EDN NRYTFA
30. Третьяк Л.Н., Ребезов М.Б., Явкина Д.И. Анализ потребительских предпочтений органической мясной продукции. *Все о мясе*. 2023; (1): 20–24. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-1-20-24>
31. Ребезов М.Б., Амерханов И.М., Альхамова Г.К., Етимбаева А.Р. Конъюнктура предложения мясных продуктов «Халаль» на примере города Челябинска. *Научный журнал КубГАУ*. 2012; 77: 915–924. EDN OWLLTR
32. Хайруллин М.Ф., Ребезов М.Б., Наумова Н.Л., Лукин А.А., Дущ А.О. О потребительских предпочтениях при выборе мясных продуктов. *Мясная индустрия*. 2011; (12): 15–17. EDN OOVZUP
33. Виткалова С.О., Жилияков Д.И. Оценка развития российского свиноводства и его роли на мировом рынке. *Вестник НГИЭИ*. 2025; (11): 67–79. EDN TAWTFD
34. Колотовкина П.С., Чалова Н.А. Производство свинины в России и мире. *Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы. Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием*. Кемерово: Кузбасский ГАУ. 2025; 400–406. EDN WDDCBM
35. Кусакина О.Н., Осипян С.В. Современные тенденции развития рынка мяса птицы РФ в контексте процессов суверенизации ее экономики. *Экономическое развитие России: стратегии цифровой трансформации и технологического суверенитета. Материалы Международной научно-практической конференции*. Краснодар: Кубанский государственный университет. 2025; 3: 113–119. EDN KLTRAD
36. Ребезов Я.М., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Хайбрахманов Р.Р. Положение российского индейководства в 2025 году. *Аграрная наука*. 2025; (11): 40–47. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-40-47>
37. Петрунина И.В., Горбунова Н.А. Системные меры по снижению выбросов парниковых газов в животноводческих хозяйствах. Обзор. *Пищевые системы*. 2022; 5(3): 202–211. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>
38. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Базыкин В.И., Шалавина Е.В. Исследования выделения парниковых газов при переработке навоза молодняка крупного рогатого скота. *Инженерные технологии и системы*. 2025; 35(3): 465–488. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.465-488>
39. 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>
40. Попова В.Н., Живалов В.Н. Продовольственная безопасность в РФ: проблема реализации внутренних потребностей на фоне расширения экспортных возможностей. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2025; 20(3): 384–402. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2025-20-3-384-402>
41. Колосов Ю.А., Панфилова Г.И., Тимофеев З.О. Роль скотоводства в обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. *Аграрная наука и производство: новые подходы и актуальные исследования. Материалы международной научно-практической конференции*. Персиановский: Донской ГАУ. 2025; 2: 79–83. EDN IJZUUD
42. Губер Н.Б., Монастырёв А.М., Ребезов М.Б. Научное и практическое обоснование новых биотехнологических приемов повышения производства говядины и ее пищевой ценности. Алматы: *Эпиграф*. 2019; 104. ISBN 978-601-327-797-4 EDN MSWHHF
43. Вацаев А.Н., Аксёнова С.А. Качество и безопасность мясного сырья и готовой продукции. *Инновации в индустрии питания и сервиса. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию кафедры общественного питания и сервиса и в рамках Десятилетия науки и технологий*. Краснодар: КубГУ. 2025; 210–213. EDN KYOCOT
44. Зимняков В.М., Зимняков А.В., Курочкин А.А., Зимняков А.М. Состояние, проблемы и перспективы производства мяса в России. *Техника и технологии в животноводстве*. 2024; 14(2): 4–10. <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-2-4>
45. Петрунина И.В. Перспективы развития мясного подкомплекса АПК России. *Все о мясе*. 2024; (5): 9–11. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2024-5-9-11>
46. Кошкина И.Г., Климух Л.Я., Маркова А.Л., Гусев А.Ю. Перспективы и ориентиры развития подотрасли мясного скотоводства. *Инновационные технологии в агропромышленном комплексе. Материалы международной научно-практической конференции*. Воронеж: Воронежский ГАУ. 2023; 364–368. EDN KHWJIV
47. Сулимин В.В. Перспективы развития агропромышленного комплекса России в условиях экономических санкций. *Столыпинский вестник*. 2023; 5(5): 19. EDN ZRRRII
48. Рамазанов И.А., Николаева М.А., Рамазанов С.А. Экосистемный подход как инструмент решения проблем мясного рынка. *Аграрная наука*. 2024; (5): 129–135. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-129-135>
49. Яковенко Н.А., Иваненко И.С. Перспективы развития рынка мяса и мясной продукции России в условиях новых вызовов. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(6): 838–848. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-838-848>
50. Калмыкова М.С., Галкина А.Г. Факторы и критерии продовольственной безопасности. *Региональная и отраслевая экономика*. 2025; (1): 199–204. EDN MDQLOC
51. Бунчиков О.Н., Михненко Т.Н., Седых Ю.А. Продовольственная независимость как стратегический вектор развития страны. *Московский экономический журнал*. 2025; 10(2): 10–21. https://doi.org/10.55186/2413046X_2025_10_2_34
28. Khabib M.D., Tyunkova V.V., Teplyakova M.Yu. Main trends in meat products consumption by the population of the Russian Federation. *Vestnik Universiteta*. 2025; (6): 175–186 (in Russian). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2025-6-175-186>
29. Pis'mennyy P.A. State of the meat products market in the Russian Federation. *Akademicheskaya publitsistika*. 2025; (6-2): 48–52 (in Russian). EDN NRYTFA
30. Tretyak L.N., Rebezov M.B., Yavkina D.I. Analysis of consumer preferences for organic meat products. *Vsyo o myase*. 2023; (1): 20–24 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-1-20-24>
31. Rebezov M.B., Amerkhanov I.M., Alhamova G.K., Etimbaeva A.R. Conjunction of the offers of meat products «Halal» on the example of the City of Chelyabinsk. *Scientific Journal of KubSAU*. 2012; 77: 915–924 (in Russian). EDN OWLLTR
32. Khairullin M.F., Rebezov M.B., Naumova N.L., Lukin A.A., Duts A.O. On consumer preferences when choosing meat products. *Meat Industry*. 2011; (12): 15–17 (in Russian). EDN OOVZUP
33. Vitkalova S.O., Zhilyakov D.I. Assessment of the development of Russian pig farming and its role in the global market. *Bulletin NGIEI*. 2025; (11): 67–79 (in Russian). EDN TAWTFD
34. Kolotovkina P.S., Chalova N.A. Pork production in Russia and the world. *Current scientific and technical resources and agricultural problems. Proceedings of the XIII National scientific and practical conference with international participation*. Kemerovo: Kuzbass State Agrarian University. 2025; 400–406 (in Russian). EDN WDDCBM
35. Kusakina O.N., Osipyan S.V. Current trends in the development of the Russian poultry market in the context of the processes of sovereignty of its economy. *Economic development of Russia: Strategies for digital transformation and technological sovereignty. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Krasnodar: Kuban State University. 2025; 3: 113–119 (in Russian). EDN KLTRAD
36. Rebezov Ya.M., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Khaibrakhmanov R.R. The state of Russian turkey farming in 2025. *Agrarian science*. 2025; (11): 40–47 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-40-47>
37. Petrunina I.V., Gorbunova N.A. Systemic measures on reduction of greenhouse gas emissions in animal husbandry enterprises. A review. *Food systems*. 2022; 5(3): 202–211 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>
38. Briukhanov A.Y., Vasilev E.V., Bazykin V.I., Shalavina E.V. Study of Greenhouse Gas Emission from Young Cattle Manure Processing. *Engineering Technologies and Systems*. 2025; 35(3): 465–488 (in Russian). <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.465-488>
39. 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>
40. Popova V.N., Zhivalov V.N. Food security in the Russian Federation: realization of domestic demands amid export opportunities expansion. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025; 20(3): 384–402 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2025-20-3-384-402>
41. Kolosov Yu.A., Panfilova G.I., Timofeev Z.O. The role of cattle breeding in ensuring food security of the Russian Federation. *Agrarian science and production: new approaches and relevant research. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Persiansky: Don State Agrarian University. 2025; 2: 79–83 (in Russian). EDN IJZUUD
42. Guber N.B., Monastyr'ev A.M., Rebezov M.B. Scientific and practical substantiation of new biotechnological methods for increasing beef production and its nutritional value. Алматы: *Epigraf*. 2019; 104 (in Russian). ISBN 978-601-327-797-4 EDN MSWHHF
43. Vachaev A.N., Aksionova S.A. Quality and safety of meat raw materials and finished products. *Innovation in the food industry and service. Collection of materials of the VI International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 40th anniversary of the Department of Catering and Service and within the framework of the Decade of Science and Technology*. Krasnodar: Kuban State Technological University. 2025; 210–213 (in Russian). EDN KYOCOT
44. Zimnyakov V.M., Zimnyakov A.V., Kurochkin A.A., Zimnyakov A.M. The state, problems and prospects of Russian meat production. *Machinery and technologies in livestock*. 2024; 14(2): 4–10 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-2-4>
45. Petrunina I.V. Prospects for the development of the meat sub-complex of the Russian agro-industrial complex. *Vsyo o myase*. 2024; (5): 9–11 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2024-5-9-11>
46. Koshkina I.G., Klimuk L.Ya., Markova A.L., Gusev A.Yu. Prospects and guidelines for the development of the sub-sector of beef cattle breeding. *Innovative technologies in the agro-industrial complex. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University. 2023; 364–368 (in Russian). EDN KHWJIV
47. Sulimin V.V. Prospects for the development of the agro-industrial complex of Russia in the conditions of economic sanctions. *Stolyпин Annals*. 2023; 5(5): 19 (in Russian). EDN ZRRRII
48. Ramazanov I.A., Nikolaeva M.A., Ramazanov S.A. Ecosystem approach as a tool for solving meat market problems. *Agrarian science*. 2024; (5): 129–135 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-129-135>
49. Yakovenko N.A., Ivanenko I.S. Prospects for the development of the Russian meat and meat products market in the context of new challenges. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(6): 838–848 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-838-848>
50. Kalmykova M.S., Galkina A.G. Factors and criteria of food security. *Regional and sectoral economics*. 2025; (1): 199–204 (in Russian). EDN MDQLOC
51. Bunchikov O., Mihnenco T., Sedyh Yu. Food independence as a strategic vector of the country's development. *Moscow Economic Journal*. 2025; 10(2): 10–21 (in Russian). https://doi.org/10.55186/2413046X_2025_10_2_34

ОБ АВТОРАХ:

Ирина Всеволодовна Петрунина

ведущий инженер, Центр «Экономико-аналитических исследований и информационных технологий»
i.petrunina@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7287-3511>

Наталья Анатольевна Горбунова

кандидат технических наук, ученый секретарь
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Максим Борисович Ребезов

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

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

ABOUT THE AUTHORS:

Irina Vsevolodovna Petrunina

Lead engineer, Center of Economic and Analytical Research and Information Technologies
i.petrunina@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7287-3511>

Natalia Anatolyevna Gorbunova

Candidate of Technical sciences, Scientific Secretary
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Maksim Borisovich Rebezov

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

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

АГРАРНАЯ
НАУКАAGRARIAN
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).

Ознакомьтесь с информацией о перечне специальностей ВАК и итоговом распределении журналов по категориям можно здесь:



Приравнивание научных журналов, входящих в наукометрические базы данных, к журналам Перечня ВАК с распределением по категориям:



Согласно приведенным данным, журнал «Аграрная наука» относится к категории 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 338.1, 338.3, 338.4

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-147-158

П.В. Строев

Е.С. Конищев ✉

О.В. Пивоварова

Финансовый университет при
Правительстве Российской
Федерации, Москва, Россия

✉ eskonishchev@fa.ru

Поступила в редакцию: 06.06.2026

Одобрена после рецензирования: 10.09.2026

Принята к публикации: 26.09.2026

© Строев П.В., Конищев Е.С.,
Пивоварова О.В.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-147-158

Pavel V. Stroeve

Evgeny S. Konishchev ✉

Olga V. Pivovarova

Financial University under the
Government of Russian Federation,
Moscow, Russia

✉ eskonishchev@fa.ru

Received by the editorial office: 06.06.2026

Accepted in revised: 10.09.2026

Accepted for publication: 26.09.2026

© Stroeve P.V., Konishchev E.S.,
Pivovarova O.V.

Оценка продовольственной обеспеченности регионов России на основе доходных, потребительских и ценовых параметров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Исследование продовольственной обеспеченности сохраняет высокую научную значимость в связи с тем, что агрегированные показатели производства и самообеспечения не позволяют в полной мере оценить фактическую доступность продовольствия для населения. Для России данная проблематика особенно важна ввиду межрегиональных различий в уровне доходов, структуре потребления, транспортной доступности и динамике потребительских цен. В этих условиях анализ продовольственной обеспеченности требует рассмотрения не только производственных параметров, но также ценовых, доходных и потребительских характеристик, позволяющих выявить ограничения экономической доступности продовольствия.

Методы. Эмпирическую основу исследования составили официальные статистические данные Единой межведомственной информационно-статистической системы и Росстата, характеризующие доходы населения, стоимость минимального продовольственного и фиксированного потребительского наборов, структуру потребительских расходов, потребление основных продуктов питания, уровень самообеспечения и динамику потребительских цен. В работе использованы сравнительный, динамический и структурный методы анализа, а также последовательное сопоставление доходных, потребительских и ценовых показателей.

Результаты. Установлено, что за 2003-2025 гг. доля стоимости условного минимального набора продуктов питания и фиксированного набора потребительских товаров и услуг в среднедушевых доходах населения в постоянных ценах сократилась приблизительно в 2 раза, сохраняющаяся высокая доля расходов на продовольственные товары в структуре потребительских расходов свидетельствует о значительной чувствительности населения к росту цен на продовольствие. Показано, что высокий уровень самообеспечения по отдельным видам продукции не всегда сопровождается соответствующим уровнем фактического потребления. Наиболее отчетливо это проявляется в сегменте рыбы и рыбопродуктов, где сравнительно высокий уровень самообеспечения сочетается с низким потреблением и ростом цен по отдельным позициям.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, продовольственная обеспеченность, регионы, экономическая доступность продовольствия, потребительские цены, самообеспечение продовольствием, потребление продуктов питания, продовольственная инфляция

Для цитирования: Строев П.В., Конищев Е.С., Пивоварова О.В. Оценка продовольственной обеспеченности регионов России на основе доходных, потребительских и ценовых параметров. *Аграрная наука*. 2026; 411(10): 147–158.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-147-158>

Assessing Food Provision In Russian Regions Based on Income, Consumption, and Price Parameters

ABSTRACT

Relevance. The study of food provision remains highly relevant from a scholarly perspective, since aggregate indicators of production and self-sufficiency do not allow for a full assessment of the actual accessibility of food for the population. In Russia, this issue is particularly important due to interregional differences in income levels, consumption patterns, transport accessibility, and the dynamics of consumer food prices. Under these conditions, the analysis of food provision requires consideration not only of production-related parameters, but also of price, income, and consumption characteristics that make it possible to identify constraints on the economic accessibility of food.

Methods. The empirical basis of the study consists of official statistical data from the Unified Interdepartmental Information and Statistical System and the Federal State Statistics Service, covering household income, the cost of the minimum food basket and the fixed consumer basket, the structure of consumer expenditures, consumption of major food products, the level of food self-sufficiency, and the dynamics of consumer prices. The study employs comparative, dynamic, and structural methods of analysis, as well as a sequential comparison of income, consumption, and price indicators.

Results. It was found that between 2003 and 2025, the share of the cost of the conditional minimum food basket and a fixed basket of consumer goods and services in the average per capita income of the population at constant prices decreased by approximately half. The persistently high share of food expenditures in the structure of consumer spending indicates significant sensitivity of the population to rising food prices. It was shown that a high level of self-sufficiency for certain types of products is not always accompanied by a corresponding level of actual consumption. This is most clearly observed in the fish and fish products segment, where a relatively high level of self-sufficiency coexists with low consumption and rising prices for selected products.

Key words: food security, food provision, regions, economic accessibility of food, consumer prices, food self-sufficiency, food consumption, food inflation

For citation: Stroeve P.V., Konishchev E.S., Pivovarova O.V. Assessing Food Provision In Russianian Regions Based on Income, Consumption, and Price Parameters. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 147–158 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-147-158>

Проблематика продовольственной безопасности в середине 2020-х гг. сохраняет статус одного из ключевых направлений агроэкономических исследований. В современной научной литературе и аналитических исследованиях продовольственная безопасность рассматривается как многомерная категория, охватывающая не только наличие продовольствия, но и его физическую и экономическую доступность, качество потребления, а также устойчивость соответствующих параметров во времени^{1,2}. В последние годы исследовательский интерес к данной проблематике заметно усилился под воздействием последствий пандемии COVID-19, геополитической напряженности, нарушений логистики, волатильности мировых агропродовольственных рынков и нарастающих климатических рисков, что актуализировало вопросы устойчивости продовольственных систем и уязвимости домохозяйств к изменениям цен [1–4]. Вследствие этого все большее значение в исследованиях приобретает анализ не только производственных возможностей аграрного сектора, но и экономической доступности продовольствия для населения, в том числе через динамику потребительских цен, инфляционное давление и пространственную неоднородность продовольственных рынков [5–6]. Для России данные аспекты имеют особую значимость, поскольку даже при наличии значительного внутреннего аграрного потенциала региональные различия в уровне цен, доходов населения, транспортной доступности и структуре потребления формируют различные условия продовольственной обеспеченности [7]. В этой связи исследование цен на продукты питания в региональном разрезе позволяет более содержательно раскрыть современные особенности продовольственной обеспеченности и уточнить характер возникающих социально-экономических диспропорций.

Продовольственный вопрос не исчерпывается задачей формального достижения пороговых значений самообеспечения по основным видам продукции. Российские исследования последних лет показывают, что даже при заметном прогрессе по ряду агрегированных индикаторов продовольственной безопасности сохраняются структурные ограничения, связанные с технологической зависимостью, неоднородностью регионального развития, логистическими издержками, импортозависимостью по отдельным сегментам агропродовольственной цепочки и высокой чувствительностью потребителей к изменению цен. Так, Н.А. Киреева, оценивая российскую продовольственную безопасность в контексте новых вызовов, отмечает одновременно и адаптационный потенциал отечественного агропродовольственного комплекса в 2014–2023 гг.,

и сохраняющуюся актуальность задач технологического суверенитета, модернизации и снижения системных уязвимостей [8]. С.В. Иванова, сопоставляя российский и китайский опыт, также показывает, что современное понимание продовольственной безопасности постепенно расширяется и все в большей степени включает не только производственный, но и социальный, демографический и технологический контекст [9].

Вместе с тем, И.С. Дроздов предлагает разграничивать категории продовольственной безопасности, продовольственного обеспечения и продовольственной обеспеченности, подчеркивая, что их смешение затрудняет как корректную постановку исследовательских задач, так и выбор релевантного инструментария анализа. В логике данного подхода продовольственная безопасность характеризует состояние и устойчивость системы на макроуровне, тогда как обеспеченность и обеспечение в большей степени связаны с практиками снабжения, воспроизводства и доступа на мезо- и микроуровне [10]. Для темы настоящего исследования такое разграничение важно, поскольку позволяет избежать редукции проблематики к показателям валового выпуска и самообеспечения и сместить акцент на региональные различия в доступности продовольствия, в том числе обусловленные ценовой динамикой.

В отечественной литературе, посвященной региональному измерению продовольственной безопасности, заметно усиление интереса к факторам пространственной неоднородности. О.В. Косенчук и А.В. Зинич рассматривают продовольственное самообеспечение регионов как элемент экономической устойчивости и подчеркивают, что его уровень определяется не только объемами собственного производства, но и состоянием логистики, государственным регулированием, влиянием мировых цен, санкционными ограничениями и качеством институциональной среды [11]. А.Н. Семин и А.Н. Анищенко на материале молочнопродуктового подкомплекса показывают, что обеспечение продовольственной безопасности предполагает не только физическое наличие продукции, но и поддержание ее потребления на уровне рациональных норм, что требует согласованного применения мер государственной поддержки, модернизации и технологического обновления отрасли [12]. Тем самым в современных российских работах прослеживается тезис о том, что устойчивость продовольственной системы должна оцениваться не по одному признаку, а как результат взаимодействия производственных, организационных, институциональных и социальных факторов [13–14].

Отдельное направление исследований связано с выявлением межрегиональной асимметрии

¹ FAO. An Introduction to the Basic Concepts of Food Security. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2008. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/AL936E> (дата обращения: 14.07.2026).

² HLPE. Food Security and Nutrition: Building a Global Narrative towards 2030. Rome: FAO; 2020. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca9731en> (дата обращения: 14.07.2026).

в параметрах продовольственной безопасности и функционирования региональных продовольственных рынков. С.С. Патракова и Е.Д. Копытова, анализируя северные регионы России, исходят из того, что уровень продовольственной безопасности определяется сочетанием экономических и неэкономических факторов и не может быть полностью сведен к единому набору мер без учета специфики территории [15]. Аналогичный вывод в несколько иной постановке содержится в работе К.А. Морачевской и соавторов: региональные пограничные продовольственные рынки по-разному реагируют на геополитические изменения, а значит, адаптация российской экономики к новым внешним условиям имеет неравномерное пространственное выражение и формирует различающиеся режимы товарного снабжения и динамики цен [16]. Для региональной экономики это означает, что оценка продовольственной безопасности без учета территориальной специфики ценовых процессов, логистики и рыночной структуры оказывается методологически неполной [17].

Вместе с тем значительная часть современных работ показывает, что именно динамика цен является одной из наименее тривиальных и одновременно наиболее социально чувствительных составляющих продовольственной проблематики. Исследование И.А. Ощепкова, В.В. Ишмурзиной и М.А. Габова демонстрирует, что межрегиональные различия в структуре потребительской корзины статистически связаны с различиями в уровне и волатильности инфляции: регионы с более высокими долями продовольствия в структуре расходов, как правило, оказываются более уязвимыми к ценовым колебаниям, причем эта группа в значительной степени совпадает с менее обеспеченными субъектами Федерации [18]. Д. Крылов, анализируя продовольственную инфляцию в России в сравнении с мировыми ценами на продовольствие, подчеркивает, что высокая доля расходов на продукты питания в потреблении российских домохозяйств делает продовольственную инфляцию особенно значимой как для общей инфляционной динамики, так и для уровня жизни, при этом отдельного изучения требуют различия между регионами в реакции внутренних цен на внешние ценовые импульсы [19].

А.А. Гулюгина, рассматривая трансформацию продовольственной импортозависимости России в условиях санкций, показывает, что агрегированные показатели самообеспечения не позволяют зафиксировать важную часть рисков, связанных с ценовой передачей внешних шоков и влиянием импортозависимости на уровень жизни населения, в связи с этим автор предлагает включать параметры импортозависимости и импортированной инфляции в систему оценки продовольственной безопасности [20]. В международных исследованиях схожая логика выражается в акценте на совместном анализе доходных и ценовых детерминант продовольственной незащищенности:

если доход определяет базовые возможности домохозяйства, то продовольственная инфляция существенно меняет фактическую достижимость этих возможностей, особенно в уязвимых группах населения и на территориях с неблагоприятной структурой потребления [5, 21].

Таким образом, в сложившемся массиве исследований можно выделить два относительно автономных, но объективно взаимосвязанных направления. Первое сосредоточено на вопросах продовольственной безопасности, самообеспечения и устойчивости агропродовольственной системы, второе — на региональной инфляции, ценовой дифференциации и динамике потребительских расходов. С одной стороны, национальные показатели продовольственной безопасности могут демонстрировать приемлемую динамику. С другой — межрегиональные различия в уровне доходов, структуре потребления, территориальной удаленности, зависимости от межрегиональных поставок, роли приграничной торговли и реакции локальных рынков на внешние шоки означают, что фактическая продовольственная обеспеченность населения формируется в существенно неоднородных условиях. Иными словами, наличие продовольствия на макроуровне не тождественно его равной экономической доступности в региональном разрезе, а потому анализ цен на продукты питания становится необходимым элементом исследования продовольственной обеспеченности регионов России.

Исходя из этого, проблемное поле настоящей статьи формируется вокруг взаимосвязи продовольственной обеспеченности и региональной ценовой динамики на потребительском рынке продовольствия. В центре внимания находится вопрос о том, каким образом различия в уровне цен на продукты питания и в их изменении по регионам России соотносятся с более широкими характеристиками продовольственной обеспеченности и экономической доступности продовольствия. Такая постановка позволяет: во-первых, перейти от усредненных национальных оценок к анализу территориальной неоднородности; во-вторых, совместить агроэкономические и регионально-экономические аспекты; в-третьих, уточнить, в какой мере региональные различия в ценах следует рассматривать не как вторичный статистический эффект, а как отдельное проявление неравномерности экономического развития. Дополнительную аналитическую значимость этому подходу придает то обстоятельство, что в современных условиях именно сочетание ценовых, логистических, институциональных и производственных факторов во многом определяет реальную устойчивость продовольственной системы на уровне регионов.

В этой связи исследование региональной дифференциации цен на продовольствие целесообразно рассматривать не как частную задачу анализа инфляции, а как способ более комплексно раскрыть внутреннюю структуру

продовольственной обеспеченности страны. Такой подход позволяет совместить макропонимание продовольственной безопасности с анализом региональных рынков и потребительского поведения.

Целью исследования является оценка продовольственной обеспеченности регионов России на основе сопоставления уровня самообеспечения продуктами питания, доходов населения, фактического потребления продовольствия и динамики потребительских цен.

В качестве гипотезы исследования выдвигается предположение о том, что высокий уровень самообеспечения основными продуктами питания и рост денежных доходов населения не исключают ограничений продовольственной обеспеченности, поскольку экономическая доступность продуктов питания в существенной степени определяется динамикой потребительских цен на продовольственные товары, а также особенностями потребительского поведения с учетом текущей экономической конъюнктуры, что проявляется в структуре потребительских расходов и фактическом потреблении отдельных продуктовых групп. Научная новизна исследования состоит в развитии подходов к оценке продовольственной обеспеченности регионов России посредством комплексного анализа доходов и расходов населения, самообеспечения, фактического потребления и ценовой динамики, что позволяет более полно раскрыть ограничения экономической доступности продовольствия.

Материал и методы исследования / Material and methods

Эмпирическую основу исследования составили официальные статистические данные Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)³ и Федеральной службы государственной статистики (Росстата)⁴, характеризующие динамику доходов населения, потребительских расходов, потребления основных продуктов питания, потребительских цен и уровня самообеспечения продовольствием. Объектом исследования выступает продовольственная обеспеченность населения России, рассматриваемая через соотношение доходных, ценовых и потребительских параметров. Предмет исследования — изменение экономической доступности продовольствия в условиях роста доходов населения, ценовой динамики на продовольственном рынке и различий между производственной обеспеченностью и фактическим потреблением отдельных видов продукции. Пространственные границы исследования охватывают Российскую Федерацию в целом, федеральные округа и города федерального значения.

В исследовании использованы официальные статистические показатели, характеризующие доходы населения, стоимость минимального продовольственного и фиксированного потребительского наборов, структуру потребительских расходов, потребление основных продуктов питания, уровень самообеспечения, средние потребительские цены.

Временные границы анализа определялись доступностью и сопоставимостью статистических рядов: для доходов населения и стоимости наборов использован период 2003–2025 гг., для структуры потребительских расходов — 2006–2025 гг., для потребления основных продуктов питания — 2010–2024 гг., для уровня самообеспечения — 2002–2024 гг., для средних потребительских цен — 2003–2025 гг. При интерпретации пространственных различий учитывались ограничения отдельных рядов, в том числе более короткий период наблюдений по Севастополю и неполнота региональной статистики по отдельным показателям.

В рамках исследования авторами рассматриваются такие категории, как продовольственная обеспеченность, доступность продовольствия и уровень самообеспечения. В целях более корректной интерпретации полученных результатов представляется целесообразным выделить подходы к их пониманию, используемые авторами. Так, под продовольственной обеспеченностью понимается многокомпонентная социально-экономическая характеристика фактического удовлетворения потребностей населения в продовольствии, формирующаяся под воздействием комплекса факторов, включая производственные, доходные, ценовые и потребительские. Соответствующий подход согласуется с подходом И.С. Дроздова, разграничивающего продовольственную безопасность, продовольственное обеспечение и продовольственную обеспеченность [10]. Доступность продовольствия определяется авторами, в первую очередь, в экономическом контексте, то есть как возможность населения приобретать и фактически потреблять продовольственные товары с учетом сложившегося соотношения денежных доходов и потребительских цен, а также нагрузки продовольственных расходов на бюджет домохозяйств. Такой подход коррелирует с результатами исследований различных авторов, отмечающих значимость ценового фактора в обеспечении продовольственной безопасности [15, 16, 19]. Подход к пониманию самообеспечения продовольствием основывается на содержании Приказа Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 30 сентября 2020 г. № 582 «Об утверждении методики расчета уровня самообеспечения

³ Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) : официальный сайт [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 14.07.2026).

⁴ Федеральная служба государственной статистики (Росстат) : официальный сайт [Электронный ресурс]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 14.07.2026).

сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием»⁵, определяется степенью покрытия внутреннего потребления продовольствия за счет собственного производства.

Методическая основа исследования построена на сочетании сравнительного, динамического и структурного анализа официальных статистических данных. Такой подход позволяет рассматривать продовольственную обеспеченность не как результат изменения отдельного показателя, а как совокупность взаимосвязанных доходных, ценовых и потребительских параметров. На первом этапе сопоставлялись темпы роста среднедушевых денежных доходов населения, стоимости минимального набора продуктов питания и фиксированного набора потребительских товаров и услуг в постоянных ценах, что позволило оценить общую динамику базовой покупательной способности населения. На втором этапе анализировалась доля продовольственных расходов в структуре потребительских расходов как индикатор сохраняющейся нагрузки продовольственного компонента на бюджет домохозяйств. На третьем этапе исследовались изменения потребления основных продуктов питания по Российской Федерации в целом и в разрезе федеральных округов, что позволило соотнести изменения в ценах и доходах с фактическими параметрами потребления. На четвертом этапе сопоставлялись уровни самообеспечения основными продуктами питания с объемами их потребления, а также анализировалась динамика средних потребительских цен по отдельным товарным группам. Тем самым методический подход обеспечивает переход от рассмотрения отдельных статистических показателей к комплексной интерпретации взаимосвязей между доходами населения, ценовой динамикой, структурой расходов и фактическим потреблением.

Вместе с тем, одним из ограничений исследования является укрупненный пространственный уровень анализа: основная часть показателей рассматривается по Российской Федерации, федеральным округам и городам федерального значения, а не по отдельным субъектам Российской Федерации. Такое агрегирование обеспечивает сопоставимость и компактность представления результатов, а также достаточный уровень их содержательной детализации.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В первую очередь представляется целесообразным обратить внимание на изменение доходов населения. С 2003 по 2025 гг. среднедушевые денежные доходы (в ценах 2025 г.) в целом по Российской Федерации увеличились в 2,78 раза (рис. 1). Наибольший рост фиксируется в Южном федеральном округе (ЮФО), (в 3,59 раза), Приволжском федеральном округе (ПФО), (в 2,9 раза), Северо-Западном федеральном округе (СЗФО), (в 2,84 раза). Наименьший — в Севастополе (в 1,54 раза), Северо-Кавказском федеральном округе (СКФО), (в 1,36 раза) и Москве (в 1,92 раза). При этом, показатели Севастополя и СКФО принимаются за исключения ввиду менее продолжительного периода доступного наблюдения (с 2015 г. и с 2009 г. соответственно).

В целях обеспечения корректности сопоставимости среднедушевых доходов населения значения показателя были скорректированы на коэффициент разницы цен. Коэффициент рассчитывается по формуле (1):

$$Krp_y = \frac{PM_{i,y}}{PM_{M,y}}, \quad (1)$$

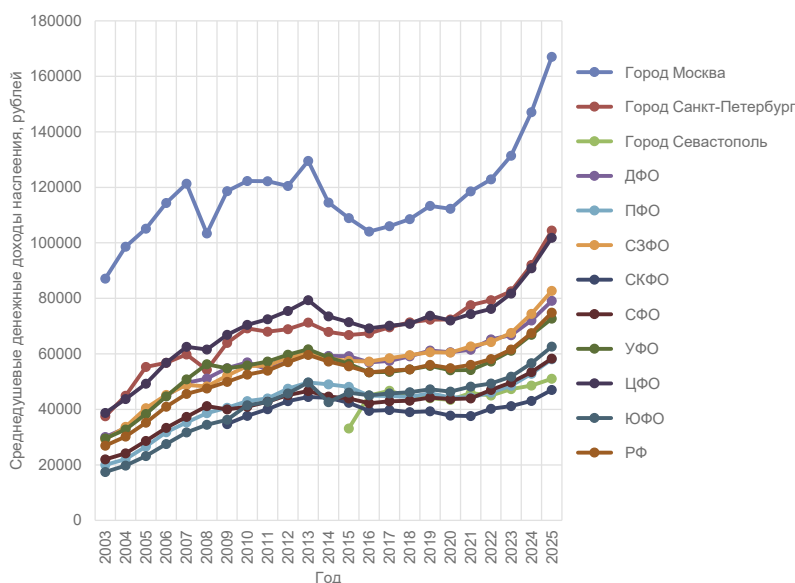
где: Krp_y — коэффициент разницы цен в y году;
 $PM_{i,y}$ — среднегодовая стоимость условного (минимального) набора продуктов питания в ценах 2025 г. i -го объекта анализа в y году;

$PM_{M,y}$ — среднегодовая стоимость условного (минимального) набора продуктов питания в ценах 2025 г. в Москве в y году.

Рис. 1. Динамика среднедушевых денежных доходов населения (в ценах 2025 г.) за 2003–2025 гг., рублей

Fig. 1. Dynamics of average per capita monetary income of the population (in 2025 prices) for 2003–2025, rubles

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)



⁵ Об утверждении методики расчета уровня самообеспечения сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием : приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 30 сентября 2020 г. № 582 : ред. от 10 декабря 2025 г. [Электронный ресурс] // ЮИС Легалакт. — URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minselkhoza-rossii-ot-30092020-n-582-ob-utverzhdenii/> (дата обращения: 14.07.2026).

Москва была выбрана в качестве базиса для расчета коэффициента, поскольку характеризуется самым высоким уровнем среднедушевых доходов, что позволяет скорректировать значения по Российской Федерации, федеральным округам и другим городам федерального значения относительно уровня Москвы. Кроме того, Москва является столицей Российской Федерации и ядром национального экономического пространства.

Динамика скорректированных среднедушевых доходов населения за 2003–2025 гг. представлена на рисунке 2. Наибольший рост среднедушевых доходов населения в среднем в год, обусловленный корректировкой на коэффициент разницы цен, фиксируется в ПФО (+13,26 тыс. рублей в среднем в год), ЮФО (+10,4 тыс. рублей в среднем в год) и УФО (+9,8 тыс. рублей в среднем в год). Наименьший — в Санкт-Петербурге (+2,4 тыс. рублей в среднем в год) и СЗФО (+2,5 тыс. рублей в среднем в год). Сокращение доходов наблюдается в ДФО (-7,4 тыс. рублей в среднем в год). Соответствующая динамика объясняется разницей в ценах, что, как следствие, влияет на покупательную способность населения.

Вместе с тем стоимость условного (минимального) набора продуктов питания⁶ и фиксированного набора потребительских товаров и услуг⁷ в ценах 2025 г. за период с 2003 по 2025 гг. в целом по Российской Федерации увеличилась на 34% раз и 40,7% соответственно. Наибольший рост стоимости условного (минимального) набора продуктов питания фиксируется в УФО (+46,2%), СЗФО (+44,8%) и СФО (+44,6%). Наибольший рост стоимости фиксированного набора потребительских товаров и услуг — в ЦФО (+46,7%), УФО (44%) и ЮФО (+43,6%).

За 2003–2025 гг. наблюдается сокращение доли стоимости условного (минимального) набора продуктов питания и фиксированного набора потребительских товаров и услуг в объеме среднедушевых денежных доходов населения в ценах 2025 г. (рисунок 3). Так, доля стоимости условного минимального набора сократилась на 10,71 п.п. (с 20,72% до 10,01%), фиксированного

Рис. 2. Динамика скорректированных среднедушевых денежных доходов населения (в ценах 2025 г.) за 2003–2025 гг., рублей

Fig. 2. Dynamics of adjusted per capita monetary income of the population (in 2025 prices) for 2003–2025, rubles

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)

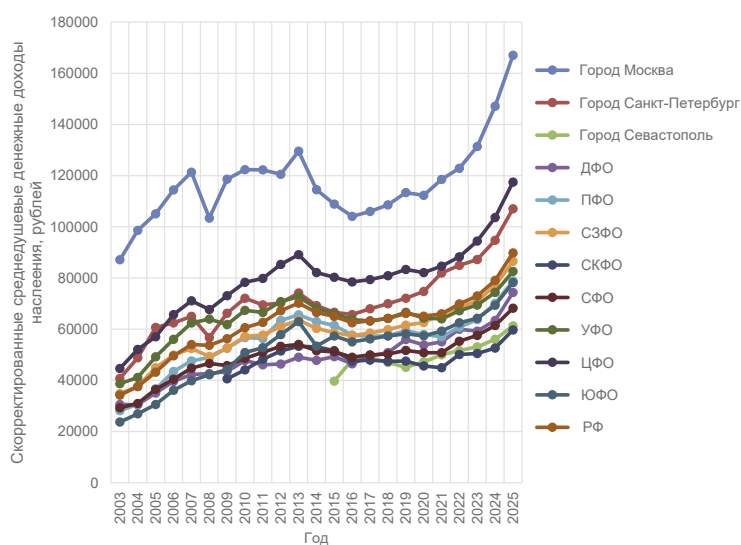
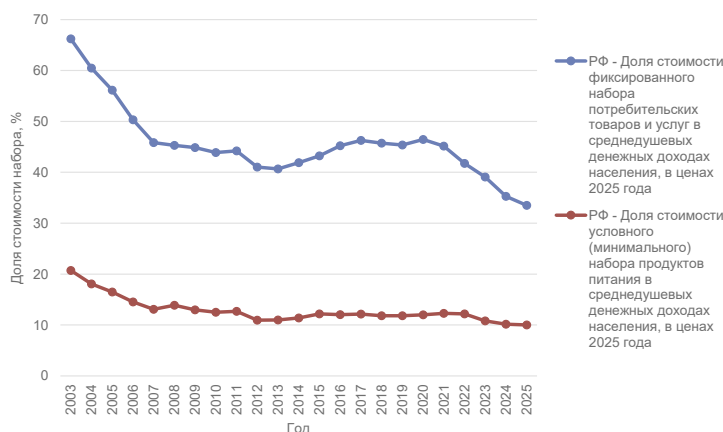


Рис. 3. Доля стоимости условного (минимального) набора продуктов питания, фиксированного набора потребительских товаров и услуг в среднедушевых денежных доходах населения в ценах 2025 г. за 2003–2025 гг., %

Fig. 3. Share of the cost of the notional (minimum) food basket and the fixed basket of consumer goods and services in per capita cash income of the population (in 2025 prices), 2003–2025, %

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)



набора — на 32,71 п.п. (с 66,22% до 33,51%). Фиксируемая динамика значений показателей в ценах 2025 года позволяет утверждать, что за период доля стоимости потребительских наборов в среднедушевых доходах населения сократилась в 2 раза. Иными словами, доступность для населения базовых продовольственных товаров на протяжении периода увеличивалась.

⁶ В состав условного (минимального) набора продуктов питания включено 33 наименования продовольственных товаров. («Официальная статистическая методология наблюдения за потребительскими ценами на товары и услуги и расчета индексов потребительских цен», утвержденная приказом Росстата № 915 от 15 декабря 2021 г.).

⁷ В состав набора включены 83 наименования товаров и услуг, в том числе 30 видов продовольственных товаров, 41 вид непродовольственных товаров и 12 видов услуг. («Официальная статистическая методология наблюдения за потребительскими ценами на товары и услуги и расчета индексов потребительских цен», утвержденная приказом Росстата № 915 от 15 декабря 2021 г.).

Авторы склонны считать соответствующий вывод статистическим приближением, поскольку выделяемые в рамках статистического наблюдения наборы продуктов питания и потребительских товаров и услуг не способны в полной мере характеризовать потребительское поведение поскольку отражают в определенной степени минимальные/базовые потребительские потребности. Так, доля потребительских расходов на продовольственные товары (без алкогольных напитков) в общей структуре потребительских расходов по Российской Федерации за 2006–2025 гг. составляла не менее 31%, а к концу периода значение доли практически вернулось к уровню 2006 года (34,7% в 2025 году против 35,6% в 2006 году) (рисунок 4). При этом уровень расходов на продовольствие в России характеризуется как средний в сравнении с другими странами (по данным портала Our World in Data на 2023 год — 25,3%⁸; для сравнения: Германия — 11,6%, Китай — 21,2%, Индия — 29,9%).

Несмотря на отсутствие значительных изменений доли потребительских расходов на продовольственные товары на протяжении периода, с 2006 года наблюдается относительно устойчивый тренд на ее уменьшение, с 2014 года — тренд на ее увеличение.

С 2010 по 2024 гг. объем потребления основных продуктов питания в среднем на потребителя по Российской Федерации практически не изменился (рисунок 5). Наибольшими значениями потребления за период характеризуются молоко и яйца, которые опережают остальные продукты со значительным отрывом. Среди продуктов с наименьшим объемом потребления: масло растительное и другие жиры, рыба и рыбопродукты, сахар и кондитерские изделия. При этом, если в случае масла и других жиров, а также сахара и кондитерских изделий, низкие объемы потребления потенциально могут объясняться спецификой данных продуктов, то в случае с низким потреблением рыбы и рыбопродуктов — их недостаточной доступностью для потребителя (в т.ч. ценовой).

Наибольший прирост потребления за период по Российской Федерации демонстрируют мясо и мясопродукты (+26,2%), овощи и бахчевые (13,58%) (рисунок 6). Умеренный рост

Рис. 4. Доля потребительских расходов на продовольственные товары (без алкогольных напитков) в общей структуре потребительских расходов по Российской Федерации за 2006–2025 гг., %

Fig. 4. Share of consumer expenditures on food products (excluding alcoholic beverages) in the overall structure of consumer expenditures in the Russian Federation, 2006–2025, %

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)

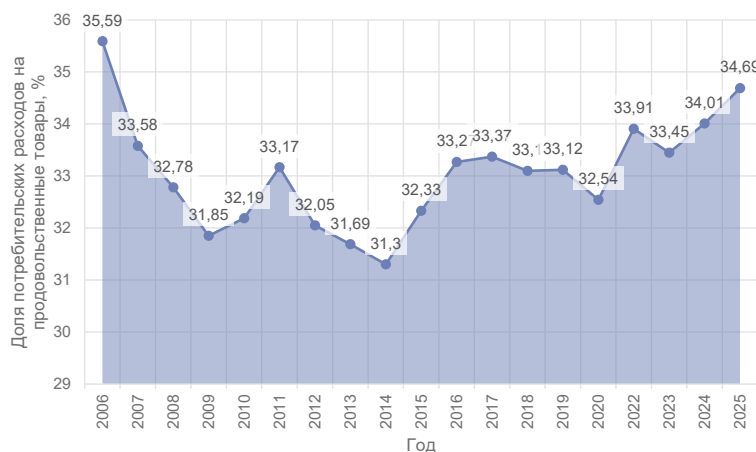
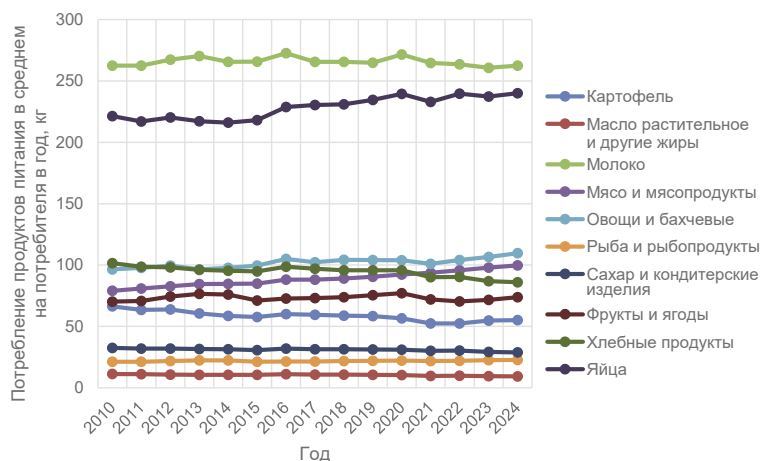


Рис. 5. Динамика потребления основных продуктов питания в среднем на потребителя в год по Российской Федерации с 2010 по 2024 гг., кг

Fig. 5. Dynamics of average annual per capita consumption of major food products in the Russian Federation, 2010–2024, kg

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)



потребления отмечается у следующих продуктов: яйца (+8,45%), рыба и рыбопродукты (+7,08%), фрукты и ягоды (+5,13%). Потребление молока характеризуется незначительным снижением (-0,04%). В свою очередь значительное снижение потребления демонстрируют: сахар и кондитерские изделия (-11,38%), хлебные продукты (-15,27%), картофель (-16,89%), масло растительное и другие жиры (-16,96%).

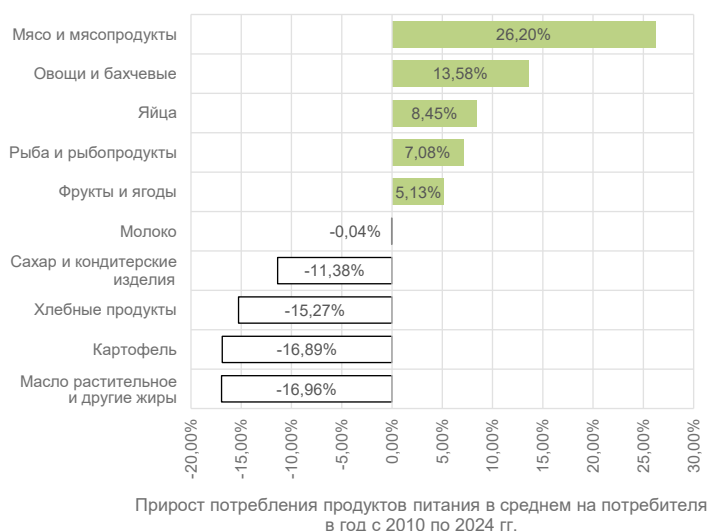
Учитывая прирост потребления основных продуктов питания, необходимо отметить, что значительное снижение потребления по наблюдаемым продуктам с меньшей вероятностью обусловлено ценовой недоступностью для потребителя и скорее связано с изменением потребительских предпочтений.

⁸ Share of consumer expenditure spent on food [Электронный ресурс] // Our World in Data. — URL: <https://ourworldindata.org/grapher/share-of-consumer-expenditure-spent-on-food?time=2023> (дата обращения: 14.07.2026).

Рис. 6. Прирост потребления основных продуктов питания в среднем на потребителя в год по Российской Федерации с 2010 по 2024 гг.

Fig. 6. Increase in average annual per capita consumption of major food products in the Russian Federation, 2010-2024

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)



В разрезе федеральных округов и городов федерального значения существенных изменений объемов потребления основных продуктов питания также не прослеживается, а динамика в целом соответствует общероссийской (рисунок 7). Фиксируется рост потребления мяса и мясопродуктов по всем федеральным округам и городам федерального значения. Потребление овощей и бахчевых также растет практически по всем наблюдаемым объектам, исключения: Санкт-Петербург (сокращение на 8 кг в год в среднем на потребителя), ДФО (без изменений). Значимый

рост потребления рыбы и рыбопродуктов отмечается в Москве (+7 кг в год в среднем на потребителя), СКФО (+4 кг в год), СФО (+3 кг в год) и ЦФО (+3 кг в год). При этом, федеральные округа, в которых развиты рыбная промышленность (ДФО, СЗФО и ЮФО) демонстрируют отрицательную (ДФО и СЗФО) или нулевую динамику (ЮФО), что также косвенно подтверждает тезис о том, что низкие значения потребления рыбы и рыбопродуктов связаны с недостаточной доступностью соответствующей продукции для потребителя.

Вместе с тем, относительно стабильная динамика наблюдается по уровню самообеспечения основными продуктами питания по Российской Федерации с 2002 по 2024 гг. (рисунок 8). Зерно характеризуется наибольшими колебаниями значений, что обусловлено различиями в урожайности от года к году, несмотря на это уровень самообеспечения остается самым высоким на протяжении практически всего периода (исключение составляет 2012 год). При этом, начиная с 2011 года, на втором месте по уровню самообеспечения находится рыба, что позволяет говорить о диспропорции между производством и потреблением в разрезе данного вида продукции.

Авторы отмечали, что сравнительно низкий объем потребления рыбы и рыбопродуктов на фоне сравнительно высокого уровня самообеспечения, потенциально связан с недостаточной доступностью соответствующей

Рис. 7. Потребление основных продуктов питания в среднем на потребителя в год по федеральным округам и городам федерального значения за 2010 и 2024 гг.

Fig. 7. Average annual per capita consumption of major food products across federal districts and federal cities, 2010 and 2024

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)

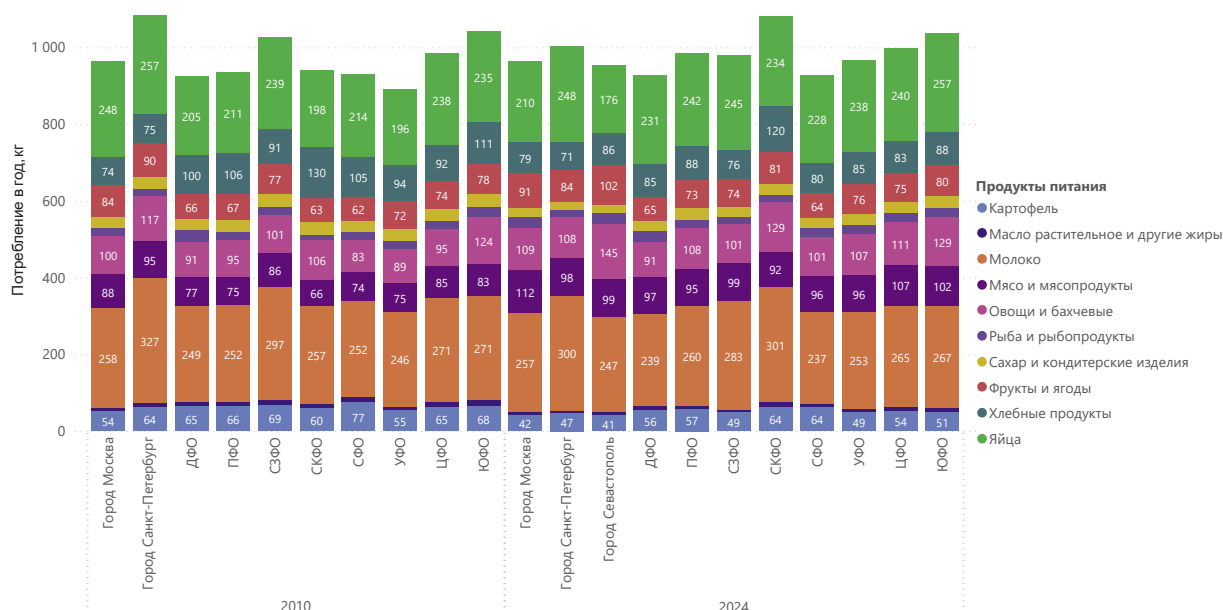


Рис. 8. Динамика уровня самообеспечения основными продуктами питания по Российской Федерации с 2002 по 2024 гг., %

Fig. 8. Dynamics of the level of self-sufficiency in major food products in the Russian Federation, 2002–2024

Источник: составлено авторами по данным Росстата

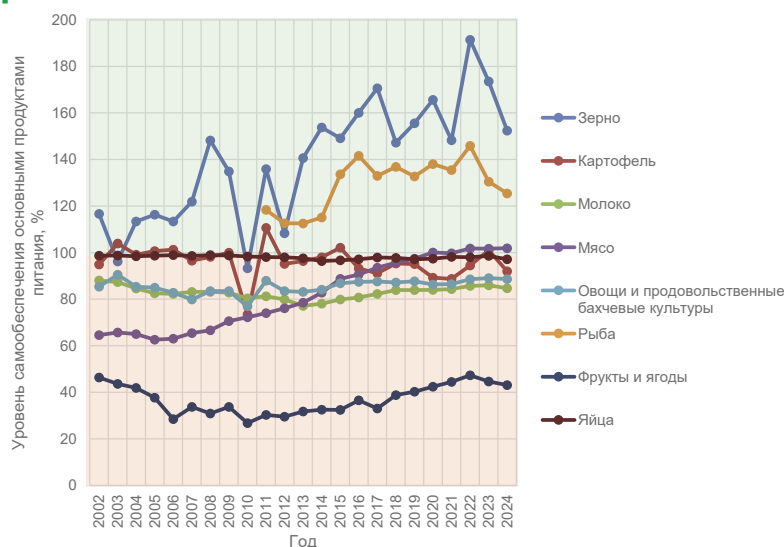
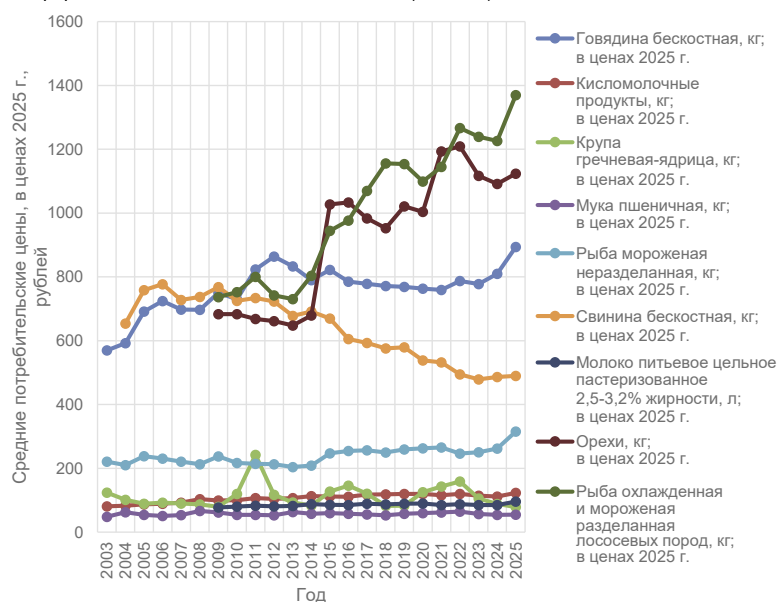


Рис. 9. Средние потребительские цены на отдельные товары по Российской Федерации, 2003–2025 гг., в ценах 2025 г., рублей

Fig. 9. Average consumer prices for selected goods in the Russian Federation, 2003–2025, in 2025 prices, rubles

Источник: составлено авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)



продукции для потребителя. Данный тезис подтверждается динамикой средних потребительских цен на различные типы рыбы и рыбной продукции. На рисунке 9 приведен сравнительный анализ потребительских цен по различным видам продукции, включая рыбную. Фиксируется, что за период изменение цен на рыбную продукцию носит неоднозначный характер. С одной стороны, цены на рыбу мороженую неразделанную изменяются

сопоставимо с другими видами продукции (+42,81%). С другой, цены на рыбу лососевых пород на протяжении периода росли быстрыми темпами (+85,97%, в 2025 к 2009 году), опережая цены на говядину и орехи.

Таким образом, полученные результаты исследования позволяют утверждать, что поставленная гипотеза подтвердилась, а подход к интерпретации результатов посредством последовательного сопоставления комплекса параметров является оправданным. В рамках его применения были выявлены случаи, при которых положительная динамика доходов и высокий уровень самообеспечения не сопровождаются эквивалентным повышением фактической доступности отдельных видов продовольствия для населения. В качестве частного, но аналитически значимого примера рассматривался сегмент рыбы и рыбопродуктов, по которому сопоставление уровня самообеспечения, объемов потребления и ценовой динамики позволило зафиксировать расхождение между макроэкономической обеспеченностью и потребительской доступностью.

В этой связи представляется целесообразным более подробно рассмотреть причины недостаточной доступности для потребителей рыбы и рыбопродуктов. Наиболее значимая группа причин связана именно с ценовой доступностью, что подтверждается результатами различных социальных опросов:

— Аналитический центр НАФИ, 2022 г.⁹:

- россияне ценят рыбу за ее полезные свойства (69%), вкус (52%), за то, что она может сделать рацион питания более разнообразным (50%);
- выбирая рыбу, россияне, прежде всего, ориентируются на цену (50%);
- приобретая продукты питания для себя или своей семьи, россияне, отказываются от покупки рыбы из-за высокой цены (31%);
- 96% россиян хотели бы потреблять рыбу и морепродукты чаще, чем они делают это сейчас.

⁹ Россияне и рыба: выбор, покупка и потребление рыбы, рыбных изделий и морепродуктов [Электронный ресурс] // Аналитический центр НАФИ. — 06.12.2022. — URL: <https://nafi.ru/polls/rossiyane-i-ryba-vybor-pokupka-i-potreblenie-ryby-rybnykh-izdeliy-i-moreproduktov/> (дата обращения: 14.07.2026).

— ВЦИОМ, 2023 г.¹⁰:

- доля россиян, покупающих рыбу не реже раза в месяц, сократилась с 81% в 2018 году до 75% в 2023 году;

- большая часть россиян оценивает рыбу как обязательный элемент здорового питания (71%, -8 п.п. к 2018 г.);

- едят рыбу раз в неделю и чаще 42% россиян, в 1,6 раза меньше, чем в 2018 году (68%).

— ВЦИОМ, 2024 г.¹¹:

- 76% россиян хотели бы потреблять рыбу чаще, при этом респонденты в качестве «желаемых» выбирали рыбу лососевых пород: форель (39%), лосось (38%), семга (36%), горбуша (24%).

- красную рыбу еженедельно употребляют 25% респондентов с хорошим материальным положением и только 7% респондентов с плохим материальным положением;

- при покупке красной рыбы в первую очередь россияне обращают внимание на цену (68%).

Результаты опросов свидетельствуют о том, что большинство россиян, во-первых, признает полезность и важность рыбы в рационе, во-вторых, хотело бы потреблять рыбу чаще (особенно рыбу лососевых пород). Вместе с тем, при покупке рыбы большинство обращает внимание именно на цену, а для трети респондентов высокая цена может стать причиной отказа от покупки.

Фиксируемый по результатам проведенного анализа стремительный рост цен на рыбу и рыбную продукцию, в особенности на рыбу лососевых пород, на фоне устойчиво низкого потребления среди населения в сравнении с другими продовольственными товарами, обусловлен комплексом причин. Исследователи и эксперты в качестве наиболее значимых причин подобной ценовой динамики внутри страны выделяют логистические и производственные издержки, экспорт и биологическая ограниченность предложения. Например, в работе Мнацаканяна А.Г. и Харина А.Г. показано, что доминирующее влияние на розничную цену оказывают издержки обращения, включая транспортные расходы [22]. Кроме того, санкционное давление на Российскую Федерацию со стороны западных стран лишь увеличивает рост издержек производителей за счет роста цен на оборудование, комплектующие и т.д. С другой стороны, Васильев А.М. и Лисунова Е.А. отмечают, что высокий уровень экспорта рыбы создает дефицит доступной рыбы на внутреннем рынке и способствует росту цен, а также, что российские производители могут ориентировать внутренние оптовые цены на наиболее выгодную внешнюю альтернативу [23]. Аналогичной позиции придерживается Макоедов А.Н., подчеркивая, что значительная часть высокосортной рыбной продукции

отправляется на экспорт, что сдерживает увеличение предложения на внутреннем рынке и стимулирует рост цен [24].

Выводы/Conclusion

Проведенное исследование показало, что оценка продовольственной обеспеченности населения России должна включать в себя комплекс количественных и качественных характеристик и не может быть сведена к анализу агрегированных показателей самообеспечения или к сопоставлению общей динамики доходов и стоимости минимального продовольственного набора. Несмотря на то, что за 2003-2025 гг. доля стоимости условного минимального набора продуктов питания и фиксированного набора потребительских товаров и услуг в среднедушевых доходах населения в постоянных ценах сократилась приблизительно в 2 раза, сохраняющаяся высокая доля расходов на продовольствие в структуре потребительских расходов (более 30%) указывает на то, что продовольственный компонент продолжает занимать значительную часть расходов домохозяйств, а следовательно, чувствительность населения к росту цен на продовольствие остается высокой. Фиксируемое сокращение доли стоимости условного и фиксированного наборов в среднедушевых денежных доходах населения не привело к снижению доли расходов на продовольствие в структуре потребительских расходов, а с 2014 года выявлена тенденция на ее увеличение.

Анализ фактического потребления основных продуктов питания показал, что в рассматриваемый период в России не наблюдалось общего ухудшения структуры продовольственных товаров. Вместе с тем, различия в динамике отдельных продуктовых групп свидетельствуют о неоднородности доступности продовольствия. Наиболее показателен в этом отношении сегмент рыбы и рыбопродуктов: сравнительно высокий уровень самообеспечения (более 100%) сочетается с относительно низким потреблением (по состоянию на 2024 год: 22,7 кг в год, в то время как мясо — 99,7 кг в год) и ускоренным ростом цен по отдельным видам продукции (рост цен на рыбу лососевых пород опережает другие группы продовольственных товаров). Это позволяет сделать вывод о наличии разрыва между характеристиками обеспеченности продовольствием и фактической доступностью продукции для населения.

Результаты исследования подтверждают необходимость расширенного подхода к оценке продовольственной обеспеченности, сочетающего показатели производства, самообеспечения, доходов, потребительских расходов, структуры потребления и ценовой динамики. Для России такой

¹⁰ Рыбный день, или о потреблении рыбы в России [Электронный ресурс] // ВЦИОМ. — 30.05.2023. — URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskiy-obzor/rybnyi-den-ili-o-potreblenii-ryby-v-rossii> (дата обращения: 14.07.2026).

¹¹ Ключевые аспекты потребления красной рыбы на российском рынке в 2024 году [Электронный ресурс] : презентация результатов всероссийского опроса населения // ВЦИОМ, INARCTICA. — 2024. — 17 с. — URL: https://wciom.ru/fileadmin/user_upload/VCIOM_INARCTICA_Krasnaja_ryba.pdf (дата обращения: 14.07.2026).

подход особенно значим в силу существенных межрегиональных различий в доходах населения, транспортной доступности и организации продовольственных рынков. Теоретическая значимость работы заключается в развитии представлений о продовольственной обеспеченности как о многокомпонентной социально-экономической характеристике, которая выходит за рамки показателей производства и самообеспечения. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных результатов при совершенствовании подходов к мониторингу продовольственной обеспеченности, а также при разработке мер агропродовольственной и социальной политики, ориентированных на снижение ценовых ограничений доступа населения к продовольствию и учет межрегиональной неоднородности условий

потребления. Вместе с тем, полученные результаты интерпретируются как оценка общих закономерностей изменения продовольственной обеспеченности, выявляемых на основе официальной статистики, что формирует основу для дальнейших более детализированных исследований межрегиональных дифференциации продовольственной обеспеченности. В развитии полученных результатов перспективным направлением дальнейших исследований представляется применение более комплексных методик оценки, включая регрессионный анализ панельных данных, модели множественной регрессии и методы факторного анализа, позволяющих количественно определить влияние ценовых, доходных, производственных и пространственных факторов на продовольственную обеспеченность 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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета при Правительстве Российской Федерации

FUNDING

The article was prepared based on the results of research carried out at the expense of budgetary funds under the state assignment of the Financial University under the Government of the Russian Federation

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Saccone D., Vallino E. Global food security in a turbulent world: reviewing the impacts of the pandemic, the war and climate change. *Agricultural and Food Economics*. 2025; 13: 47. <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00388-0>
2. Xu Y., Chou J., Wang Z., Dong W. Predicting the differences in food security with and without the Russia-Ukraine conflict scenarios over different regions of the world. *Agricultural and Food Economics*. 2024; 12: 5. <https://doi.org/10.1186/s40100-024-00296-9>
3. Ушачев И.Г., Маслова В.В., Колесников А.В. Нарастание объемов агропромышленного производства для обеспечения продовольственной безопасности и увеличения экспортного потенциала АПК России. *Экономика региона*. 2022; 18(4): 1178–1193. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-15>
4. Хейфец Б.А., Чернова В.Ю. Новые подходы развитых стран в обеспечении продовольственной безопасности. *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. 2022; 15(1): 151–166. <https://doi.org/10.31249/kgt/2022.01.07>
5. Bogmans C., Pescatori A., Prifti E. How do Economic Growth and Food Inflation Affect Food Insecurity? IMF Working Paper WP/24/188. *International Monetary Fund*, 2024; 48, 6. ISBN 9798400287336 <https://doi.org/10.5089/9798400287336.001>
6. Хейфец Б.А., Чернова В.Ю. Влияние регулирования экспорта на продовольственную безопасность (на примере рынка зерновых в России). *Проблемы прогнозирования*. 2022; (2): 131–141. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-191-131-141>
7. Алпатов А.В., Колесников А.В., Брагинцев Ю.Н., Клещев С.К., Кичиев А.З., Мельников Б.А. Детерминанты развития продовольственной безопасности России. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2024; (7): 76–86. <https://doi.org/10.33938/247-76>
8. Киреева Н.А. Продовольственная безопасность России в контексте новых вызовов. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2025; (5): 676–683. https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_5_676
9. Иванова С.В. Компаративный анализ современного состояния продовольственной безопасности России и Китая. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2025; (1): 14–18. https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_1_14
10. Дроздов И.С. Субъект-объектный подход к управлению системой обеспечения продовольственной безопасности на национальном уровне. *Продовольственная политика и безопасность*. 2025; 12(2): 303–322. <https://doi.org/10.18334/ppib.12.2.123174>
11. Косенчук О.В., Зинич А.В. Ключевые аспекты продовольственного самообеспечения регионов России. *Продовольственная политика и безопасность*. 2025; 12(2): 323–342. <https://doi.org/10.18334/ppib.12.2.122490>
12. Семин А.Н., Анищенко А.Н. Управление продовольственной безопасностью на уровне молочного подкомплекса страны. *Продовольственная политика и безопасность*. 2025; 12(2): 527–544. <https://doi.org/10.18334/ppib.12.2.123322>
13. Авдийский В.И. Совершенствование методов оценки теневой экономики на сельскохозяйственных предприятиях для целей предупреждения угроз продовольственной безопасности. *Финансы: теория и практика*. 2025; 29(2): 47–58. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-2-47-58>

REFERENCES

1. Saccone D., Vallino E. Global food security in a turbulent world: reviewing the impacts of the pandemic, the war and climate change. *Agricultural and Food Economics*. 2025; 13: 47. <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00388-0>
2. Xu Y., Chou J., Wang Z., Dong W. Predicting the differences in food security with and without the Russia-Ukraine conflict scenarios over different regions of the world. *Agricultural and Food Economics*. 2024; 12: 5. <https://doi.org/10.1186/s40100-024-00296-9>
3. Ushachev I.G., Maslova V.V., Kolesnikov A.V. Increasing the Volume of Agro-Industrial Production to Ensure Food Security and Increase the Export Potential of the Russian Agricultural Sector. *Economy of regions*. 2022; 18(4): 1178–1193 (in Russian). <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-15>
4. Kheifets B.A., Chernova V.Y. Changing Food Security Strategies in the Developed Countries. *Outlines of global transformations: politics, economics, law*. 2022; 15(1): 151–166 (in Russian). <https://doi.org/10.31249/kgt/2022.01.07>
5. Bogmans C., Pescatori A., Prifti E. How do Economic Growth and Food Inflation Affect Food Insecurity? IMF Working Paper WP/24/188. *International Monetary Fund*, 2024; 48, 6. ISBN 9798400287336 <https://doi.org/10.5089/9798400287336.001>
6. Kheifets B.A., Chernova V.Y. Effects of Export Control Policy on Food Security: The Case of the Grain Market in Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2022; 33(2): 211–217. <https://doi.org/10.1134/S107570072202006X>
7. Alpatov A.V., Kolesnikov A.V., Braginets Iu.N., Kleshchev S.K., Kichiev A.Z., Melnikov B.A. Determinants of Russia's food security development. *Economy, labor, management in agriculture*. 2024; (7): 76–86 (in Russian). <https://doi.org/10.33938/247-76>
8. Kireeva N. Russia's food security amidst new challenges. *International Agricultural Journal*. 2025; (5): 676–683 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_5_676
9. Ivanova S. Comparative analysis of the current state of food security in Russia and China. *International Agricultural Journal*. 2025; (1): 14–18 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_1_14
10. Drozdov I.S. The subject-object approach to managing the food security system at the national level. *Food Policy and Security*. 2025; 12(2): 303–322 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.12.2.123174>
11. Kosenchuk, O. V., Zinich, A. V. Key aspects of food self-sufficiency in Russian regions. *Food Policy and Security*. 2025; 12(2): 323–342 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.12.2.122490>
12. Semin, A. N., Anishchenko, A. N. Food security management at the level of dairy subcomplex of the country. *Food Policy and Security*. 2025; 12(2): 527–544 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.12.2.123322>
13. Avdiyskiy V.I. Improvement of Methods for Assessing the Shadow Economy in Agricultural Enterprises for the Purpose of Preventing Threats to Food Security. *Finance: Theory and Practice*. 2025; 29(2): 47–58. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-2-47-58>

14. Косов М.Е., Зверева А.О., Ахматеев Р.Г., Голубцова Е.В. Усиление роли единого сельскохозяйственного налога в экономическом стимулировании агропромышленного комплекса. *Финансы: теория и практика*. 2025; 29(1): 106–118. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-1-106-118>
15. Патракова С.С., Копытова Е.Д. Современное состояние продовольственной безопасности регионов Европейского Севера России. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2025; 18(5): 143–165. <https://doi.org/10.15838/esc.2025.5.101.8>
16. Морачевская К.А., Себенцов А.Б., Кузавко А.С., Калиновский Л.В. Региональные продовольственные рынки западного пограничья России: адаптация к интеграционно-дизинтеграционным процессам. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2024; 69(3): 392–415. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2024.301>
17. Будковская И.В., Степанова Я.М., Гусев Д.А. Региональные модели обеспечения продовольственной безопасности в России: сравнительный анализ. *Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы*. 2025; (7): 127–135. EDN AEAWGI
18. Ощепков И.А., Ишмурзина В.В., Габов М.А. Однородность потребительской корзины и динамики инфляции в разрезе регионов. *Вестник Пермского университета. Серия «Экономика»*. 2024; 19(2): 186–205. <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2024-2-186-205>
19. Крылов Д. Продовольственная инфляция России и мировые цены на продукты питания. *Банк России*. 2024; 49. https://cbr.ru/StaticHtml/File/158568/wp_126.pdf
20. Гулюгина А.А. Продовольственная импортозависимость России: трансформация в условиях санкций и ценовые риски уровня жизни. *Уровень жизни населения регионов России*. 2025; 21(4): 518–530. https://doi.org/10.52180/1999-9836_2025_21_4_2_518_530
21. Anderl C., Caporale G.M. Global food prices and inflation. *British Food Journal*. 2025; 127(4): 1509–1525. <https://doi.org/10.1108/BJF-05-2024-0428>
22. Мнацаканян А.Г., Харин А.Г. Исследование внутренних факторов цен на рыбопродукты в России. *Балтийский экономический журнал*. 2023; (4): 102–113. EDN MBSTQB
23. Васильев А.М., Лисунова Е.А. Ситуация с ценами и влияние их на потребление рыбной продукции (на примере рыбного хозяйства Северного бассейна). *Рыбное хозяйство*. 2025; (4): 29–36. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-29-36>
24. Макоедов А.Н. Рыболовство России: начало нового этапа?. *Известия ТИНРО*. 2024; 204(4): 951–963. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2024-204-951-963>

ОБ АВТОРАХ

Павел Викторович Строев

кандидат экономических наук, доцент
pstroev@fa.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4770-9140>

Евгений Сергеевич Конищев

кандидат экономических наук
eskonishchev@fa.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9733-4821>

Ольга Владимировна Пивоварова

кандидат экономических наук
ovpivovarova@fa.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1755-5972>

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Ленинградский проспект, 55, Москва, 125167, Россия

14. Kosov M.E., Zvereva A.O., Akhmadeev R.G., Golubtsova E.V. Strengthening the Role of the Unified Agricultural Tax in Economic Incentives of the Agro-Industrial Complex. *Finance: Theory and Practice*. 2025; 29(1): 106–118. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-1-106-118>

15. Patrakova S.S., Kopytova E.D. Current state of food security in the European North of Russia. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2025; 18(5): 143–165. <https://doi.org/10.15838/esc.2025.5.101.8>

16. Morachevskaya K.A., Sebensov A.B., Kuzavko A.S., Kalinovskiy L.V. Regional food markets of the Western borderlands of Russia: Adaptation to integration and disintegration processes. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 2024; 69(3): 392–415 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/spbu07.2024.301>

17. Budkovskaya I.V., Stepanova Ya.M., Gusev D.A. Regional models of food security in Russia: a comparative analysis. *Innovative economy: information, analytics, forecasts*. 2025; (7): 127–135 (in Russian). EDN AEAWGI

18. Oshchepkov I.A., Ishmurzina V.V., Gabov M.A. Commodity bundle and inflation dynamics homogeneity by regions. *Perm University Herald. Economy*. 2024; 19(2): 186–205 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2024-2-186-205>

19. Krylov D. Food inflation in Russia and global food prices. *Bank of Russia*. 2024; 49 (in Russian). https://cbr.ru/StaticHtml/File/158568/wp_126.pdf

20. Gulyugina A.A. Russia's Food Import Dependence: Transformation Under Sanctions and Price Risks to Living Standards. *Living Standards of the Population in the Regions of Russia*. 2025; 21(4): 518–530 (in Russian). https://doi.org/10.52180/1999-9836_2025_21_4_2_518_530

21. Anderl C., Caporale G.M. Global food prices and inflation. *British Food Journal*. 2025; 127(4): 1509–1525. <https://doi.org/10.1108/BJF-05-2024-0428>

22. Mnatsakanyan A.G., Kharin A.G. Study of internal factors of prices for fish products in Russia. *Baltic Economic Journal*. 2023; (4): 102–113 (in Russian). EDN MBSTQB

23. Vasilyev A.M., Lisunova E.A. The situation with prices and their influence on the consumption of fish products (based on the example of fisheries in the Northern basin). *Fisheries*. 2025; (4): 29–36 (in Russian). <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-29-36>

24. Makoev A.N. Russian fisheries: beginning of a new stage?. *Izvestiya TINRO*. 2024; 204(4): 951–963 (in Russian). <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2024-204-951-963>

ABOUT THE AUTHORS

Pavel Viktorovich Stroev

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
pstroev@fa.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4770-9140>

Evgeny Sergeevich Konishchev

Candidate of Economic Sciences
eskonishchev@fa.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9733-4821>

Olga Vladimirovna Pivovarova

Candidate of Economic Sciences
ovpivovarova@fa.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1755-5972>

Financial University under the Government of Russian Federation,
55 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125167, Russia

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453,
по agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ
ООО «Урал-Пресс Округ»
<https://www.ural-press.ru/catalog/>

» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
на отраслевом портале
<https://agrarnayanauka.ru/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru



УДК 332.14:336.14:338.43

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-159-166

Ю.Л. Петрушевский

Е.А. Аксёнова

Донецкий институт управления –
филиал ФГБОУ ВО «Российская
академия народного хозяйства
и государственной службы
при Президенте Российской
Федерации, Донецк, Россия

✉ petrushevskiy-yl@ranepa.ru

Поступила в редакцию: 10.06.2026

Одобрена после рецензирования: 20.09.2026

Принята к публикации: 26.09.2026

© Петрушевский Ю.Л., Аксёнова Е.А.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-159-166

Yuriy L. Petrushevsky

Elena A. Aksenova

Donetsk Institute of Management –
branch of the Russian Presidential
Academy of National Economy and
Public Administration, Donetsk, Russia

✉ apetrushevskiy-yl@ranepa.ru

Received by the editorial office: 10.06.2026

Accepted in revised: 20.09.2026

Accepted for publication: 26.09.2026

© Petrushevsky Yu.L., Aksenova E.A.

Волатильность производственной базы и фискальная позиция аграрных регионов России: многомерная типология субъектов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Регионы с аграрной специализацией формируют доходы бюджета в условиях, когда валовой сбор зерна в стране меняется от года к году на десятки миллионов тонн, а большинство ведущих производителей сельскохозяйственной продукции получает дотации на выравнивание бюджетной обеспеченности. Цель работы состояла в том, чтобы оценить бюджетные риски аграрных регионов, порождаемые межгодовой изменчивостью валового сбора зерна и несовпадением размещения производства, экспорта и дотационной позиции субъектов, и обосновать дифференциацию инструментов бюджетной и аграрной политики по типам регионов.

Методы. По данным Росстата о валовых сборах зерновых и зернобобовых культур за 2020–2025 годы рассчитаны коэффициент вариации, линейный тренд и вероятность неурожайного года. Концентрация производства и экспорта продукции АПК измерена долей десяти ведущих субъектов. Группировка регионов выполнена по перечню Минфина России и рейтингу ФГБУ «Агроэкспорт».

Результаты. Статистически значимого тренда валового сбора не выявлено ($p = 0,765$), коэффициент вариации составил 9,7%, вероятность сбора ниже 130 млн т равна 0,288. На десять ведущих субъектов приходится 67,9% экспорта и 38,9% производства. Из десяти крупнейших производителей дотации в 2025 году не получают только Белгородская область и Республика Татарстан. Показано, что бюджетный риск аграрного региона реализуется через расходные обязательства, а не через налоговые доходы, поэтому инструменты политики дифференцированы по четырем выделенным типам регионов.

Ключевые слова: финансовый потенциал, аграрный регион, волатильность производственной базы, валовой сбор зерна, дотации на выравнивание, концентрация экспорта, типология регионов, фискальный риск

Для цитирования: Петрушевский Ю.Л., Аксёнова Е.А. Волатильность производственной базы и фискальная позиция аграрных регионов России: многомерная типология субъектов. *Аграрная наука*. 2026; 411(10): 159–166.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-159-166>

Volatility of the production base and fiscal position of Russia's agrarian regions: a multidimensional typology of federal subjects

ABSTRACT

Relevance. Regions specialising in agriculture form their budget revenues while the national gross grain harvest changes from year to year by tens of millions of tonnes, and most leading agricultural producers receive federal equalisation grants. The aim of the study was to assess the budgetary risks of agrarian regions arising from the year-to-year variability of the gross grain harvest and from the mismatch between the location of production, exports and the grant position of the regions, and to substantiate the differentiation of budgetary and agricultural policy instruments by type of region.

Methods. The coefficient of variation, the linear trend and the probability of a poor harvest were calculated from Rosstat data on gross harvests of grain and leguminous crops for 2020–2025. The concentration of production and of agri-food exports was measured by the share of the ten leading regions. The regions were grouped using the list of the Ministry of Finance of Russia and the rating of the Agroexport Federal Centre.

Results. No statistically significant trend in the gross harvest was found ($p = 0.765$); the coefficient of variation was 9.7%, and the probability of a harvest below 130 million tonnes was 0.288. The ten leading regions account for 67.9% of exports and 38.9% of production. Of the ten largest producers, only Belgorod Oblast and the Republic of Tatarstan receive no equalisation grant in 2025. It is shown that the budgetary risk of an agrarian region is realised through expenditure obligations rather than through tax revenues, and therefore policy instruments are differentiated across the four identified types of regions.

Key words: financial potential; agrarian region; volatility of the production base; gross grain harvest; equalisation grants; export concentration; regional typology; fiscal risk

For citation: Petrushevsky Yu.L., Aksenova E.A. Volatility of the production base and fiscal position of Russia's agrarian regions: a multidimensional typology of federal subjects. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 159–166 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-159-166>

Введение/Introduction

Финансовый потенциал региона в настоящей работе понимается как способность территории формировать доходы консолидированного бюджета, сбережения населения и инвестиционные ресурсы организаций. В субъектах с аграрной специализацией эта способность зависит от урожая, цен на продукцию и погодных условий, на которые региональные органы власти повлиять не могут, при том что вклад сельской экономики в валовой внутренний продукт остается существенным [1]. В 2020–2025 годах валовой сбор зерна в стране менялся от 121,4 до 157,6 млн т, экспорт продукции АПК в 2023 году достиг 43,5 млрд долл., а число субъектов, не получающих дотации на выравнивание бюджетной обеспеченности, к 2025 году выросло до 26¹. При этом крупнейшие производители зерна, крупнейшие экспортеры и регионы, не получающие дотаций, в большинстве случаев представлены разными субъектами Российской Федерации.

Актуальность исследования определяется тем, что доходы бюджета аграрного региона планируются на год вперед по ожидаемому урожаю, тогда как фактический валовой сбор зерна в 2020–2025 годах отклонялся от среднего уровня на величину до 15%. Потери доходов в неурожайный год покрываются из регионального и федерального бюджетов, поэтому изменчивость урожая становится вопросом бюджетной политики.

В литературе реакция экономики территории на внешние шоки описывается понятием региональной резилиентности, или шокоустойчивости, под которой понимается способность региона выдержать неблагоприятное воздействие и восстановить прежний уровень развития [2]. Для российских регионов показано, что экономическая и бюджетная устойчивость не совпадают [3, 4], а для шокоустойчивости территории предложены подходы к измерению и управлению [5]. В зарубежных работах в составе резилиентности выделяются сопротивление шоку, восстановление, переориентация и обновление экономики региона [6, 7]. В дискуссии о региональной политике различаются пространственно нейтральный подход, при котором меры поддержки одинаковы для всех территорий, и адресный подход, при котором меры подбираются с учетом особенностей территории [8]. Для сельского хозяйства выбор между ними имеет практическое значение, поскольку эффекты государственной поддержки отрасли различаются по регионам [9].

Научная проблема состоит в том, что в исследованиях устойчивости регионов финансовое

положение субъекта характеризуется отдельными показателями налоговой базы или дотационности [3, 4], и такая оценка не показывает, откуда для бюджета аграрного региона исходит риск. В работах о шокоустойчивости территорий [2, 5] и об эффектах государственной поддержки сельского хозяйства [9] межгодовая изменчивость сбора зерна как источник бюджетного риска количественно не оценена, а размещение производства по субъектам не сопоставлено с размещением экспортной выручки. Кроме того, дотации на выравнивание распределяются по единой для всех субъектов методике², хотя среди ведущих аграрных производителей есть как регионы, которые обходятся без дотаций, так и регионы, которые их получают.

В работе статистическая оценка изменчивости валового сбора по данным Росстата сочетается с группировкой субъектов по трем признакам, каждый из которых подтверждается документом Минфина России, федеральным законом о бюджете или рейтингом ФГБУ «Агроэкспорт»; источники данных приведены в разделе «Материалы и методы исследования». Первый признак отражает аграрную специализацию региона и опирается на коэффициент локализации [10], второй характеризует его фискальную позицию, третий показывает участие в экспорте продукции АПК. Под фискальной позицией в статье понимается положение региона в системе межбюджетного выравнивания [4], то есть наличие или отсутствие дотации на выравнивание бюджетной обеспеченности.

Цель работы — оценить бюджетные риски аграрных регионов, порождаемые межгодовой изменчивостью валового сбора зерна и несовпадением размещения производства, экспорта и дотационной позиции субъектов Российской Федерации, и обосновать дифференциацию инструментов бюджетной и аграрной политики по типам регионов.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование выполнено на кафедре финансов Донецкого института управления — филиала РАНХиГС (Донецк, Донецкая Народная Республика, Российская Федерация) в феврале–августе 2026 года по опубликованным данным за 2020–2025 гг.

Использованы бюллетени Росстата о валовых сборах зерновых и зернобобовых культур в весе после доработки без учета новых субъектов³; перечень субъектов, не получающих в 2025 году

¹ Об утверждении перечней субъектов Российской Федерации в соответствии с положениями пункта 5 статьи 130 Бюджетного кодекса Российской Федерации: приказ Минфина России от 15 ноября 2024 г. № 494 (приложение 1 – перечень 26 субъектов, не являющихся в 2025 году получателями дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности).

² О распределении дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности субъектов Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2004 г. № 670 (с изменениями), которым утверждена методика распределения дотаций.

³ Валовые сборы сельскохозяйственных культур в Российской Федерации: бюллетени Росстата за 2020–2025 гг. (зерновые и зернобобовые культуры в весе после доработки, без учета Донецкой и Луганской народных республик, Запорожской и Херсонской областей). URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>

дотации на выравнивание бюджетной обеспеченности⁴, и распределение дотаций по закону о федеральном бюджете на 2025 год⁵; рейтинг субъектов по уровню развития экспортного потенциала АПК с данными за 2023 год⁶; доклады Минсельхоза России о рентабельности сельскохозяйственных организаций⁷; данные органов власти Ростовской области об итогах 2025 года⁸.

Аграрная специализация экономики региона измеряется коэффициентом локализации [10]:

$$LQ = \frac{d_i}{d}, \quad (1)$$

где: d_i — доля сельского хозяйства в валовом региональном продукте субъекта; d — доля сельского хозяйства в валовой добавленной стоимости по стране. Если значение коэффициента превышает единицу, регион считается специализированным на сельском хозяйстве. Данные о ВРП по видам деятельности публикуются с опозданием около двух лет, поэтому коэффициент (1) задает определение специализации, а на практике специализированными считались десять субъектов с наибольшим объемом продукции сельского хозяйства в 2023 году⁹, поскольку за этот год доступны и данные об экспорте по субъектам. Такой способ определения специализации ограничивает типологию десятью субъектами, при этом все три признака устанавливаются по опубликованным документам без расчета по данным региональной статистики, и типологию можно обновлять ежегодно, не дожидаясь публикации данных о ВРП. Наличие дотации на выравнивание устанавливалось по перечню Минфина России, участие в экспорте определялось по вхождению субъекта в первую десятку экспортеров продукции АПК согласно рейтингу ФГБУ «Агроэкспорт». Каждый из трех признаков принимает два значения, поэтому число возможных сочетаний равно восьми. В качестве типов рассматривались только те сочетания, в которые вошел хотя бы один субъект с существенной для доходов бюджета аграрной занятостью.

По ряду валовых сборов y_t , $t = 2020, \dots, 2025$ ($n = 6$) рассчитаны среднее значение, стандартное

отклонение s (s делителем $n - 1$) и коэффициент вариации

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

а также размах $R = y_{\max} - y_{\min}$ и его отношение к среднему. Линейный тренд имеет вид

$$y_t = a + bt + \varepsilon_t, \quad (3)$$

где: $\tau = t - 2019$. Параметры оценены методом наименьших квадратов, гипотеза $b = 0$ проверена по критерию Стьюдента $t = b / SE(b)$ при четырех степенях свободы. Прогноз на 2026 год и 95-процентный интервал предсказания отдельного наблюдения построены по формуле К. Чатфилда [11]:

$$\hat{y}_{2026} \pm t_{0,975;4} \cdot s_e \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(\tau_0 - \bar{\tau})^2}{\sum(\tau - \bar{\tau})^2}}, \quad (4)$$

где: s_e — стандартная ошибка регрессии, $\tau_0 = 7$. Вероятность того, что сбор окажется ниже порога c , получена по нормальному приближению

$$P(y < c) = \Phi\left(\frac{c - \bar{y}}{s}\right), \quad (5)$$

где Φ — функция стандартного нормального распределения. Концентрация производства и экспорта измерена долей десяти ведущих субъектов (CR10), а расхождение между ними оценено отношением CR10 экспорта к CR10 производства. Расчеты выполнены в программе Python 3.12 (Python Software Foundation, США) с библиотекой NumPy [12] (NumFOCUS, США), рисунки построены в программе Microsoft Excel (Microsoft Corp., США).

Ограничения принятого метода связаны прежде всего с длиной ряда. Шесть наблюдений обеспечивают критерию тренда низкую мощность: при стандартной ошибке коэффициента 3,51 млн т в год значимым на уровне 5 % оказался бы только тренд не менее 9,7 млн т в год. По этой причине незначимость коэффициента свидетельствует лишь о том, что рост сбора по имеющимся данным не подтвержден. Нормальное приближение (5) занижает вероятность крайне низких сборов, так как засухи смещают распределение в

⁴ Приказ Минфина России от 15 ноября 2024 г. № 494, приложение 1 (перечень субъектов, не являющихся в 2025 году получателями дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности).

⁵ О федеральном бюджете на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов: федеральный закон от 30 ноября 2024 г. № 419-ФЗ (в ред. от 4 ноября 2025 г.), приложение «Распределение дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности субъектов Российской Федерации на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов».

⁶ Рейтинг субъектов Российской Федерации по уровню развития экспортного потенциала АПК (данные за 2023 г.). М.: ФГБУ «Агроэкспорт», 2024. URL: <https://aemcx.ru/services-and-statistics/regions-rating/>

⁷ Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2023 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. М.: Минсельхоз России, 2024; Итоговый доклад о результатах деятельности Минсельхоза России за 2024 год; Публичная декларация приоритетных целей и задач Минсельхоза России на 2025 год. М.: Минсельхоз России, 2025.

⁸ Итоги уборки зерновых в Ростовской области: сообщения Правительства Ростовской области от 17 августа 2025 г. и Ростовстата (данные на 1 ноября 2025 г.); оценки ущерба и вклада отрасли в доходы областного бюджета приведены по данным Минсельхоза России, Министерства экономического развития Ростовской области и АКРА (Ведомости Юг, 5 января 2026 г.).

⁹ Сельское хозяйство в России. 2025: статистический сборник. Приложение «Информация в разрезе субъектов Российской Федерации», табл. 2.1 «Продукция сельского хозяйства», 2.14 «Валовой сбор зерна». М.: Росстат, 2025. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226> (расчет долей выполнен автором)

сторону малых значений, поэтому полученные вероятности рассматриваются как нижняя оценка.

Ограничения, связанные с источниками данных, состоят в том, что экспортная статистика по субъектам относится к 2023 году, а перечень недотационных субъектов — к 2025 году, и полностью согласовать признаки по времени не позволяют сроки публикации. Группировка построена на признаках с двумя значениями и не учитывает различий в отраслевой структуре субъектов одного типа. Так, у Республики Башкортостан экономика диверсифицирована, а у Ростовской области преобладает зерновая специализация.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур за 2020–2025 годы составил 133,5; 121,4; 157,6; 144,9; 125,9 и 141,2 млн т (рисунок 1). Статистические характеристики ряда и параметры тренда приведены в таблице 1.

Коэффициент тренда составил 1,12 млн т в год при стандартной ошибке 3,51 млн т ($t = 0,32$; $p = 0,765$), то есть статистически значимого роста или снижения сбора за период не выявлено. Валовой сбор колебался около среднего уровня 137,4 млн т при коэффициенте вариации 9,7% и размахе, равном 26,3% среднего. Точечный прогноз на 2026 год равен 141,3 млн т, однако 95-процентный интервал предсказания составляет 85,7–197,0 млн т, что не позволяет использовать прогноз для планирования. Вероятность сбора ниже 130 млн т по формуле (5) равна 0,288, ниже 125 млн т она составляет 0,175, и год со сбором менее 130 млн т следует ожидать в среднем один раз в три-четыре года. Из этого следует, что при планировании доходов аграрного региона необходимо предусматривать резерв на случай неурожая.

На уровне отдельного региона колебания сильнее, чем в целом по стране. В Ростовской области валовой сбор зерна за 2020–2024 годы составил 12,5; 13,6; 15,3; 16,2 и 11,4 млн т¹¹, коэффициент вариации равен 14,1% против 10,8% по стране за те же годы, а сбор ранних зерновых и зернобобовых культур в 2025 году снизился еще на 24%, до 8,2 млн т¹². По этой причине общероссийское значение 9,7% рассматривается как нижняя оценка риска для регионов зернового пояса. Полученный результат согласуется с модельными оценками С.О. Сиптица, И.А. Романенко и Н.Е. Евдокимовой, согласно которым климатические факторы определяют существенную часть межгодовой изменчивости урожайности

Рис. 1. Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации в 2020–2025 гг., млн т (в весе после доработки), и средний уровень за период

Fig. 1. Gross harvest of grain and leguminous crops in the Russian Federation in 2020–2025, million tonnes (cleaned weight), and the period mean

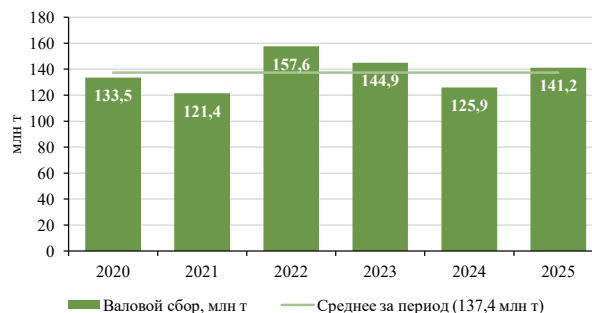


Таблица 1. Статистические характеристики валового сбора зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации в 2020–2025 гг. и параметры линейного тренда

Table 1. Statistical characteristics of the gross harvest of grain and leguminous crops in the Russian Federation in 2020–2025 and parameters of the linear trend

Показатель	Значение	Единица измерения
Среднее за период	137,4	млн т
Стандартное отклонение	13,3	млн т
Коэффициент вариации	9,7	%
Размах (максимум минус минимум)	36,2	млн т
Размах к среднему	26,3	%
Коэффициент линейного тренда b	1,12	млн т в год
Стандартная ошибка коэффициента $SE(b)$	3,51	млн т в год
Стандартная ошибка регрессии s_e	14,7	млн т
t -статистика (4 степени свободы)	0,32	–
p -значение	0,765	–
Точечный прогноз на 2026 г.	141,3	млн т
95 % интервал предсказания на 2026 г.	85,7–197,0	млн т
Вероятность сбора ниже 130 млн т	0,288	доли единицы
Вероятность сбора ниже 125 млн т	0,175	доли единицы

Примечание. Рассчитано автором по данным Росстата¹⁰. Вероятности получены по формуле (5)

зерновых в регионах России [13], и с территориально-климатической моделью урожайности зерна О.С. Соболева [14].

Концентрация производства и экспорта продукции АПК сопоставлена на рисунке 2. По данным Росстата, на десять ведущих субъектов в 2023 году пришлось 38,9% продукции сельского хозяйства страны, в 2024 году этот показатель составил 37,3%. Наибольшие доли имеют Краснодарский край (6,9% в 2023 году и 6,8% в 2024 году) и Ростовская область (5,3 и 4,5%), за ними следуют Воронежская и Белгородская области и

¹⁰ Рассчитано автором по данным Росстата: табл. 2.14 приложения к сборнику «Сельское хозяйство в России. 2025» (2020–2024 гг.) и бюллетень «Валовые сборы сельскохозяйственных культур в Российской Федерации» за 2025 г. (зерновые и зернобобовые культуры в весе после доработки, без учета новых субъектов Российской Федерации). URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13227>

¹¹ Сельское хозяйство в России. 2025: статистический сборник. Приложение «Информация в разрезе субъектов Российской Федерации», табл. 2.14 «Валовой сбор зерна». М.: Росстат, 2025. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226>

¹² Итоги уборки зерновых в Ростовской области: сообщение Правительства Ростовской области от 17 августа 2025 г.; данные Ростовстата на 1 ноября 2025 г.

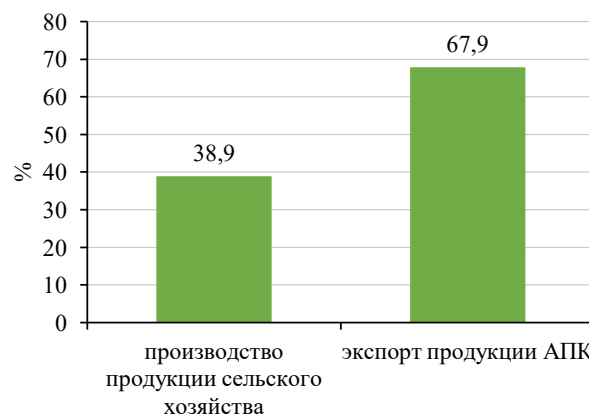
Республика Татарстан¹³. Экспорт сосредоточен сильнее. В 2023 году десять субъектов обеспечили 67,9% вывоза продукции АПК, или 29,6 млрд из 43,5 млрд долл.¹⁴. Наибольший объем экспорта приходится на Ростовскую область (8,5 млрд долл., или 19,6%), Москву (7,9 млрд долл., 18,1%) и Краснодарский край (3,0 млрд долл., 7,0%). В десятку вошли также Приморский край, Московская, Калининградская и Белгородская области, Камчатский край, Липецкая и Мурманская области, экспорт которых составил от 2,0 до 0,9 млрд долл. Доля десяти субъектов в экспорте превышает их долю в производстве в 1,75 раза (67,9 / 38,9).

Состав десятки экспортеров показывает, что экспортная выручка учитывается в тех субъектах, где расположены порты, таможенные посты и экспортноориентированная переработка. Одновременно в десятку ведущих производителей входят только Ростовская область, Краснодарский край и Белгородская область. По оценке Р. Чао и Дж. Ли [15], агломерация аграрного производства повышает устойчивость отраслевой экономики, однако в России размещение производства и размещение экспортной выручки совпадают лишь в трех субъектах из десяти, поэтому выгоды от концентрации производства достаются бюджетам разных территорий.

Рассмотрена фискальная позиция субъектов. В 2025 году дотации на выравнивание не получают 26 субъектов¹⁵. Из десяти ведущих производителей продукции сельского хозяйства в этот перечень входят только Белгородская область и Республика Татарстан, из десяти экспортеров в него входят Белгородская, Липецкая, Московская и Мурманская области и Москва. Краснодарский край получает в 2025 году дотацию 14,1 млрд руб., Ростовская область — 18,9 млрд, Воронежская область — 6,3 млрд, Ставропольский край — 36,4 млрд, Саратовская область — 15,3 млрд, Курская область — 3,6 млрд, Волгоградская область — 14,6 млрд, Республика Башкортостан — 27,5 млрд руб.¹⁶. Наибольшие объемы направлены в Республику Дагестан (106,8 млрд руб.), Республику Саха (Якутию) (68,5 млрд), Камчатский край (54,9 млрд) и Чеченскую Республику (53,6 млрд); на четыре субъекта приходится 25,8% общего объема дотаций, равного 1 098,9 млрд руб. Дотационность ведущих аграрных производителей объясняется низкими налоговыми поступлениями от отрасли. Прибыль сельскохозяйственных товаропроизводителей

Рис. 2. Доля десяти ведущих субъектов Российской Федерации в производстве продукции сельского хозяйства и в экспорте продукции АПК в 2023 г., %

Fig. 2. Share of the ten leading subjects of the Russian Federation in agricultural output and in agri-food exports in 2023, %



от профильной деятельности облагается по ставке 0%, а плательщики единого сельскохозяйственного налога освобождены от налога на прибыль и от налога на имущество, используемое в производстве¹⁷, поэтому на рубль выпуска отрасль приносит региональному бюджету меньше, чем добыча полезных ископаемых или обрабатывающие производства. К сходному выводу приводят оценка межбюджетного эффекта поддержки сельского хозяйства, выполненная А.М. Калинин и В.А. Самохваловым [16], и анализ территориальных диспропорций государственной поддержки отрасли Д.А. Луночкина и Д.Ю. Самыгина [17]. Поддержка финансируется преимущественно из федерального бюджета, а результаты ее применения распределяются между территориями и уровнями бюджетной системы неравномерно.

Сочетание трех признаков дает четыре типа регионов (табл. 2). Камчатский край входит в десятку экспортеров за счет рыбной продукции и одновременно в четверку крупнейших получателей дотаций, то есть по экспортному признаку относится к сильным регионам, а по фискальной позиции к наиболее зависимым от федерального бюджета. Оценка по одному показателю такого сочетания не выявляет. Липецкая область по экспорту и фискальной позиции близка к типу I, однако в десятку производителей не входит.

Перенос риска с одного уровня финансовой системы на другой прослежен по данным

¹³ Сельское хозяйство в России. 2025: статистический сборник. Приложение «Информация в разрезе субъектов Российской Федерации», табл. 2.1 «Продукция сельского хозяйства». М.: Росстат, 2025. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226> (расчет долей выполнен автором)

¹⁴ Рейтинг субъектов Российской Федерации по уровню развития экспортного потенциала АПК (данные за 2023 г.). М.: ФГБУ «Агроэкспорт», 2024. URL: <https://aemcx.ru/services-and-statistics/regions-rating/>

¹⁵ Приказ Минфина России от 15 ноября 2024 г. № 494, приложение 1 (перечень субъектов, не являющихся в 2025 году получателями дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности).

¹⁶ Федеральный закон от 30 ноября 2024 г. № 419-ФЗ «О федеральном бюджете на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов» (в ред. от 4 ноября 2025 г.), приложение о распределении дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности субъектов Российской Федерации на 2025 год.

¹⁷ Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 5 августа 2000 г. № 117-ФЗ, пункт 1.3 статьи 284 и глава 26.1.

Таблица 2. Типология субъектов Российской Федерации по сочетанию аграрной специализации, фискальной позиции и экспортной вовлеченности (данные 2023–2025 гг.)**Table 2. Typology of the subjects of the Russian Federation by the combination of agrarian specialisation, fiscal position and export involvement (2023–2025 data)**

Тип	Признаки	Субъекты (дотация на 2025 г., млрд руб.)	Доминирующий риск
I. Аграрные доноры	лидер производства; дотацию не получает	Белгородская область (0; экспорт 1,3 млрд долл.), Республика Татарстан (0)	внешнеторговые ограничения; эпизоотии в индустриальном животноводстве
II. Аграрные лидеры с дотационной позицией	лидер производства; получает дотацию	Краснодарский край (14,1), Ростовская область (18,9), Воронежская область (6,3), Ставропольский край (36,4), Саратовская область (15,3), Курская область (3,6), Волгоградская область (14,6), Республика Башкортостан (27,5)	урожайная и ценовая волатильность доходной базы; экспортные пошлины
III. Экспортно-логистические узлы	в десятке экспортеров; не лидер производства	Москва (0), Московская область (0), Мурманская область (0), Калининградская область, Приморский край	смещение мировых торговых потоков; аграрные доходы вторичны
IV. Высокодотационные территории с аграрной занятостью	не лидер производства; крупный получатель дотации; преобладание малых форм хозяйствования	Республика Дагестан (106,8), Чеченская Республика (53,6), Республика Тыва (25,1), Республика Ингушетия (17,9), Республика Калмыкия (4,9)	двойная зависимость: от федеральных трансфертов и от неформального аграрного сектора

Примечание. К лидерам производства отнесены десять субъектов с наибольшим объемом продукции сельского хозяйства в 2023 г. по данным Росстата. Составлено автором по перечню Минфина России, распределению дотаций на 2025 год и рейтингу ФГБУ «Агроэкспорт» за 2023 год

2023–2025 гг. На уровне хозяйства рентабельность сельскохозяйственных организаций с учетом субсидий снизилась с 20,3% в 2022 году до 18,9% в 2023 году и 18,3% в 2024 году, а плановое значение на 2025 год установлено Минсельхозом России на уровне 14,8%¹⁸. Рентабельность производства зерна в 2023 году составляла 17%, и при таком ее уровне снижение сбора на четверть делает зерновое хозяйство убыточным. На региональном уровне показателен пример Ростовской области, где в 2025 году после весенних заморозков и летней засухи пострадало около 1 млн га посевов, ущерб оценен почти в 4 млрд руб., а выпуск отрасли, формирующей более 10% ВРП, снизился примерно на 21%¹⁹. Налоговые поступления от отрасли невелики: она дает области менее 1% поступлений налога на прибыль и 5–6% НДФЛ²⁰. Поэтому потери бюджета возникают главным образом на стороне расходов, когда область компенсирует ущерб, продлевает льготные кредиты и поддерживает занятость в сельских муниципалитетах.

На федеральном уровне недостаток собственных доходов аграрных регионов покрывается дотациями на выравнивание: в 2025 году регионы типа II получают в совокупности 136,8 млрд руб., регионы типа IV получают 208,2 млрд руб. из 1098,9 млрд²¹. Дотация покрывает недостаток доходов текущего года, но структура доходной базы региона при этом остается прежней, и в следующем году потребность в дотации сохраняется.

Полученная типология согласуется с выводами В.В. Климанова, С.М. Казаковой и А.А. Михайловой о том, что экономическая и бюджетная

устойчивость регионов России не совпадают: регионы, близкие по одному признаку, различаются по другому [3, 4]. Сходный результат получен В.В. Демичевым, В.В. Маслаковой и В.С. Токаревым при типизации субъектов по индексу социально-экологической трансформации сельского хозяйства [18].

Типология позволяет подобрать инструменты политики для каждого типа регионов, что соответствует адресному подходу к региональной политике [8]. Для типа I основное значение имеют страхование экспортных рисков и биологическая безопасность промышленного животноводства. Регионам типа II необходимы контрциклические резервы, то есть средства, которые региональный бюджет накапливает в урожайные годы и расходует в неурожайные, а также более широкий охват посевов агрострахованием, стабилизирующее влияние которого подтверждено на панельных данных [19, 20].

Развитие типа III зависит прежде всего от логистических мощностей, и его поддержка выходит за рамки аграрной политики. Для типа IV важны легализация малых форм хозяйствования, кооперация и организация сбыта, поскольку эти меры увеличивают налоговые поступления от аграрной занятости.

Близкие решения предлагаются Л.А. Велибековой, Т.Г. Ханбабаевым и М.А. Казиевым для обеспечения продовольственной безопасности Республики Дагестан [21] и Д.А. Пекуровским и С.Ю. Концевой для развития сельских территорий [22].

¹⁸ Итоговый доклад о результатах деятельности Минсельхоза России за 2024 год; Публичная декларация приоритетных целей и задач Минсельхоза России на 2025 год. М.: Минсельхоз России, 2025.

¹⁹ Оценки ущерба и снижения выпуска отрасли в Ростовской области в 2025 году приведены по данным Минсельхоза России, Министерства экономического развития Ростовской области и АКРА (Ведомости Юг, 5 января 2026 г.).

²⁰ Оценки вклада отрасли в доходы областного бюджета приведены по данным Министерства экономического развития Ростовской области и АКРА (Ведомости Юг, 5 января 2026 г.).

²¹ Федеральный закон от 30 ноября 2024 г. № 419-ФЗ «О федеральном бюджете на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов» (в ред. от 4 ноября 2025 г.), приложение о распределении дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности субъектов Российской Федерации на 2025 год.

Вопросы результативности субсидий [23] и экономической безопасности АПК [24] при таком подходе также целесообразно рассматривать отдельно по типам регионов.

Выводы/Conclusion

В соответствии с целью работы оценены бюджетные риски аграрных регионов, порождаемые изменчивостью производственной базы и несопадением размещения производства, экспорта и дотационной позиции субъектов.

Изменчивость производственной базы измерена по ряду валовых сборов зерна за 2020–2025 годы. Тренд сбора статистически незначим ($1,12$ млн т в год; $p = 0,765$), коэффициент вариации равен $9,7\%$, размах составляет $26,3\%$ среднего уровня, вероятность сбора ниже 130 млн т равна $0,288$. Неурожайный год наступает в среднем один раз в три-четыре года, и эта частота задает потребность региональных бюджетов в резервах. Несовпадение размещения производства, экспорта и дотационной позиции подтверждено количественно. На десять ведущих субъектов приходится $38,9\%$ производства и $67,9\%$ экспорта продукции АПК, в обе десятки входят только три субъекта, а из десяти ведущих производителей дотации на выравнивание в 2025 году не получают только Белгородская область и Республика Татарстан. Урожайный риск, экспортная выручка и дотационная зависимость локализуются в бюджетах разных территорий, и оценка финансового положения аграрного региона по одному показателю этого не выявляет.

Показано, что бюджетный риск аграрного региона реализуется преимущественно через расходные обязательства, а не через налоговые доходы. Прибыль сельскохозяйственных

товаропроизводителей облагается по нулевой ставке, плательщики единого сельскохозяйственного налога освобождены от налога на прибыль, поэтому неурожай почти не отражается на налоговых поступлениях, но требует от региона расходов на компенсацию ущерба, продление льготных кредитов и поддержку занятости, а от федерального бюджета требует сохранения дотаций. По данным 2023–2025 гг. рентабельность сельскохозяйственных организаций снизилась с $20,3$ до $18,3\%$ при плановом значении $14,8\%$ на 2025 год, ущерб в Ростовской области составил около 4 млрд руб. при падении выпуска отрасли на 21% , а высокодотационные территории с аграрной занятостью получили $208,2$ млрд руб. дотаций из $1\,098,9$ млрд. Дотации на выравнивание покрывают недостаток доходов, но структуру доходной базы не изменяют, поэтому единый для всех субъектов набор инструментов риск не снимает. На этом основании обоснована дифференциация инструментов по четырем типам регионов, выделенным по сочетанию трех документально подтверждаемых признаков.

Аграрным донорам требуются страхование экспортных рисков и меры биологической безопасности, аграрным лидерам с дотационной позицией — резервы региональных бюджетов на случай неурожая и агрострахование. Экспортно-логистическим узлам необходимо развитие логистики, высокодотационным территориям с аграрной занятостью — легализация и кооперация малых форм хозяйствования.

Дальнейшее развитие работы связано с расчетом коэффициента локализации по всем субъектам и построением панельной модели, связывающей урожай с доходами и расходами региональных бюджетов.

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 подготовлена в рамках государственного задания РАНХиГС FRRM-2026-0007 «Институциональные механизмы управления долгосрочной устойчивостью финансовой системы России: многоуровневые риски и обеспечение межрегионального баланса»

FUNDING

This study was prepared within the framework of the RANEP state assignment FRRM-2026-0007, "Institutional mechanisms for managing the long-term stability of Russia's financial system: multi-level risks and ensuring interregional balance."

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баутин В.М., Голубев А.В. Вклад сельской экономики в ВВП России и реализацию целей национального развития. *Аграрная наука*. 2025; (7): 178–185. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-178-185>
2. Климанов В.В., Михайлова А.А., Казакова С.М. Региональная резилиентность: теоретические основы постановки вопроса. *Экономическая политика*. 2018; 13(6): 164–187. EDN YSWQFV
3. Климанов В.В., Казакова С.М., Михайлова А.А. Ретроспективный анализ устойчивости регионов России как социально-экономических систем. *Вопросы экономики*. 2019; (5): 46–64. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-5-46-64>
4. Klimanov V.V., Kazakova S.M., Mikhaylova A.A. Economic and Fiscal Resilience of Russia's Regions. *Regional Science Policy & Practice*. 2020; 12(4): 627–641. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12282>
5. Жихаревич Б.С., Климанов В.В., Марача В.Г. Шокоустойчивость территории: концепция, измерение, управление. *Региональные исследования*. 2020; (3): 4–15. EDN PJCFKB

REFERENCES

1. Bautin V.M., Golubev A.V. The contribution of the rural economy to Russia's GDP and the implementation of national development goals. *Agrarian science*. 2025; (7): 178–185 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-178-185>
2. Klimanov V.V., Mikhaylova A.A., Kazakova S.M. Regional Resilience: Theoretical Basics of the Question. *Economic Policy*. 2018; 13(6): 164–187 (in Russian). EDN YSWQFV
3. Klimanov V.V., Kazakova S.M., Mikhaylova A.A. Retrospective analysis of the resilience of Russian regions as socio-economic systems. *Voprosy Ekonomiki*. 2019; (5): 46–64 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-5-46-64>
4. Klimanov V.V., Kazakova S.M., Mikhaylova A.A. Economic and Fiscal Resilience of Russia's Regions. *Regional Science Policy & Practice*. 2020; 12(4): 627–641. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12282>
5. Zhikharevich B.S., Klimanov V.V., Maracha V.G. Resilience of the territory: concept, measurement, governance. *Regional research*. 2020; (3): 4–15 (in Russian). EDN PJCFKB

6. Martin R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*. 2012; 12(1): 1–32. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019>
7. Martin R., Sunley P. On the notion of regional economic resilience: conceptualization and explanation. *Journal of Economic Geography*. 2015; 15(1): 1–42. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbu015>
8. Barca F., McCann P., Rodríguez-Pose A. The case for regional development intervention: place-based versus place-neutral approaches. *Journal of Regional Science*. 2012; 52(1): 134–152. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00756.x>
9. Светлов Н.М., Янбых Р.Г., Логинова Д.А. О неоднородности эффектов господдержки сельского хозяйства. *Вопросы экономики*. 2019; (4): 59–73. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-59-73>
10. Isserman A.M. The Location Quotient Approach to Estimating Regional Economic Impacts. *Journal of the American Institute of Planners*. 1977; 43(1): 33–41. <https://doi.org/10.1080/01944367708977758>
11. Chatfield C. Calculating Interval Forecasts. *Journal of Business & Economic Statistics*. 1993; 11(2): 121–135. <https://doi.org/10.1080/07350015.1993.10509938>
12. Harris C.R. et al. Array programming with NumPy. *Nature*. 2020; 585(7825): 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
13. Сипитис С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России. *Проблемы прогнозирования*. 2021; (2): 75–86. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-185-75-86>
14. Соболев О.С. Территориально-климатическая модель урожайности зерна в России. *Экономика сельского хозяйства России*. 2024; (2): 107–112. <https://doi.org/10.32651/242-107>
15. Ranran C., Jingsuo L. The impact of agricultural production agglomeration on agricultural economic resilience: based on spatial spillover and threshold effect test. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1464732. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1464732>
16. Калинин А.М., Самохвалов В.А. Эффективность финансовой поддержки сельского хозяйства: общая оценка и межбюджетный эффект. *Проблемы прогнозирования*. 2020; (5): 142–152. EDN DFAUKW
17. Луночкин Д.А., Самыгин Д.Ю. Государственная поддержка и стратегические приоритеты развития сельского хозяйства: влияние и территориальные диспропорции. *Экономика сельского хозяйства России*. 2025; (9): 9–19. <https://doi.org/10.32651/259-9>
18. Демичев В.В., Маслакова В.В., Токарев В.С. Типизация регионов России на основе комплексного индекса социально-экологической трансформации сельского хозяйства. *Аграрная наука*. 2025; (7): 186–193. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-186-193>
19. Zheng T., Zhao G. The impact of policy-oriented agricultural insurance on China's grain production resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1510953. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1510953>
20. Xie C., Kuang Y., Wen H., Wu X. Agricultural agglomeration or industrial integration: how does agricultural insurance bolster agricultural resilience in China? *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025; 9: 1531287. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1531287>
21. Велибекова Л.А., Ханбабаев Т.Г., Казиев М.А. Продовольственная безопасность Республики Дагестан: основные направления обеспечения. *Аграрная наука*. 2023; (1): 95–103. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-95-103>
22. Пекуровский Д.А., Концевая С.Ю. Тенденции пространственных изменений сельских территорий. *Аграрная наука*. 2023; (3): 128–131. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-128-131>
23. Сеитов С.К. Эффективность субсидирования сельского хозяйства в Казахстане. *Аграрная наука*. 2023; (4): 152–156. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-152-156>
24. Улыбина Л.В. Современное состояние и проблемы развития агропромышленного комплекса РФ в контексте экономической безопасности. *Аграрная наука*. 2024; (7): 179–186. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-179-186>
6. Martin R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*. 2012; 12(1): 1–32. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019>
7. Martin R., Sunley P. On the notion of regional economic resilience: conceptualization and explanation. *Journal of Economic Geography*. 2015; 15(1): 1–42. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbu015>
8. Barca F., McCann P., Rodríguez-Pose A. The case for regional development intervention: place-based versus place-neutral approaches. *Journal of Regional Science*. 2012; 52(1): 134–152. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00756.x>
9. Svetlov N.M., Yanbykh R.G., Loginova D.A. On the diversity of the effects of the state support for agriculture. *Voprosy Ekonomiki*. 2019; (4): 59–73 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-59-73>
10. Isserman A.M. The Location Quotient Approach to Estimating Regional Economic Impacts. *Journal of the American Institute of Planners*. 1977; 43(1): 33–41. <https://doi.org/10.1080/01944367708977758>
11. Chatfield C. Calculating Interval Forecasts. *Journal of Business & Economic Statistics*. 1993; 11(2): 121–135. <https://doi.org/10.1080/07350015.1993.10509938>
12. Harris C.R. et al. Array programming with NumPy. *Nature*. 2020; 585(7825): 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
13. Siptits S.O., Romanenko I.A., Evdokimova N.E. Model Estimates of Climate Impact on Grain and Leguminous Crops Yield in the Regions of Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2021; 32(2): 169–176. <https://doi.org/10.1134/S1075700721020106>
14. Sobolev O.S. Territorial-climatic model of grain yield in Russia. *Economics of Agriculture of Russia*. 2024; (2): 107–112 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/242-107>
15. Ranran C., Jingsuo L. The impact of agricultural production agglomeration on agricultural economic resilience: based on spatial spillover and threshold effect test. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1464732. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1464732>
16. Kalinin A.M., Samokhvalov V.A. Effectiveness of Financial Support to Agriculture: General Assessment and Inter-Budget Effect. *Studies on Russian Economic Development*. 2020; 31(5): 565–572. <https://doi.org/10.1134/S1075700720050081>
17. Lunochkin D.A., Samygin D.Yu. State support and strategic priorities of agricultural development: impact and territorial disproportions. *Economics of Agriculture of Russia*. 2025; (9): 9–19 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/259-9>
18. Demichev V.V., Maslakova V.V., Tokarev V.S. Typing of Russian regions based on the comprehensive index of socio-ecological transformation of agriculture. *Agrarian science*. 2025; (7): 186–193 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-186-193>
19. Zheng T., Zhao G. The impact of policy-oriented agricultural insurance on China's grain production resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1510953. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1510953>
20. Xie C., Kuang Y., Wen H., Wu X. Agricultural agglomeration or industrial integration: how does agricultural insurance bolster agricultural resilience in China? *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025; 9: 1531287. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1531287>
21. Velibekova L.A., Khanbabaev T.G., Kaziev M.A. Food security of Republic of Dagestan: the main directions of ensuring. *Agrarian science*. 2023; (1): 95–103 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-366-1-95-103>
22. Pekurovskiy D.A., Kontseva S.Yu. Trends in spatial changes in rural areas. *Agrarian science*. 2023; (3): 128–131 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-128-131>
23. Seitov S.K. Efficiency of agricultural subsidies in Kazakhstan. *Agrarian science*. 2023; (4): 152–156 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-152-156>
24. Ulybina L.V. Current state and problems of development of the agro-industrial complex of the Russian Federation in the context of economic security. *Agrarian science*. 2024; (7): 179–186 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-179-186>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юрий Люциянович Петрушевский

доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой учёта и аудита
petrushevskiy-yl@ranepa.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5698-9979>

Елена Александровна Аксёнова

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры финансов
aksenova-ea@ranepa.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1903-3267>

Донецкий институт управления — филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»,
ул. Челюскинцев, д. 163а, Донецк, 283015, Россия

AUTHORS' INFORMATION

Yuri Lyutsianovich Petrushevsky

Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the
Department of Accounting and Auditing
petrushevskiy-yl@ranepa.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5698-9979>

Elena Alexandrovna Aksenova

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Finance
aksenova-ea@ranepa.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1903-3267>

Donetsk Institute of Management — branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,
163a Chelyuskintsev st., Donetsk, 283015, Russia

УДК 338.43:331.5

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-167-174

Ю.В. Шевченко ✉

Л.Ю. Москалева

Т.С. Троицкая

Е.М. Троицкая

Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

✉ yurashev5@yandex.ru

Поступила в редакцию: 20.06.2026

Одобрена после рецензирования: 10.09.2026

Принята к публикации: 26.09.2026

© Шевченко Ю.В., Москалева Л.Ю., Троицкая Т.С., Троицкая Е.М.

Кадровое обеспечение агропромышленного комплекса: балансовая оценка вклада высшего аграрного образования в покрытие годовой потребности отрасли

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Годовая потребность агропромышленного комплекса в кадрах оценивается Минсельхозом России в 150–160 тыс. человек, тогда как публичные оценки доли выпускников аграрных вузов, приходящих в отрасль, расходятся от 13 до 70%. Вклад вузовского звена подготовки в покрытие потребности количественно не оценен, а целевой ориентир закрепляемости не соотнесен ни с масштабом потребности, ни с ее структурой по уровню квалификации.

Методы. Балансовая модель воспроизводства кадров с лагом между приемом и выпуском и оттоком первого года; параметры приняты по данным Минсельхоза России, Минобрнауки России и Росстата; сценарный и обратный расчет; декомпозиция потребности по уровню образования занятых; анализ чувствительности методом одностороннего варьирования.

Результаты. При приеме 73,6 тыс. человек и доле доходящих до выпуска 0,636 годовой выпуск составляет 46,8 тыс. человек. При закрепляемости 0,13 вузовское звено покрывает 3,8–4,1% совокупной потребности, при целевых 0,70 — 20,5–21,8%, при полной закрепляемости — 29,3–31,2%. Потребность в специалистах с высшим образованием (15,3% занятых) покрывается при закрепляемости 0,49–0,52; остальные 84,7% потребности приходятся на работников со средним профессиональным образованием и без профессионального образования, которых вузовское звено не готовит. Разброс публичных оценок закрепляемости меняет результат на 8,2 процентного пункта, тогда как прием, отсев, отток первого года и потребность — не более чем на 1,2 пункта каждый. Сформулированы три проверяемые гипотезы о детерминантах закрепляемости для эмпирического этапа.

Ключевые слова: кадровое обеспечение АПК, аграрное образование, закрепляемость выпускников, балансовая модель, анализ чувствительности, потребность в кадрах, структура занятых по уровню образования, целевое обучение

Для цитирования: Шевченко Ю.В., Москалева Л.Ю., Троицкая Т.С., Троицкая Е.М. Кадровое обеспечение агропромышленного комплекса: балансовая оценка вклада высшего аграрного образования в покрытие годовой потребности отрасли. *Аграрная наука*. 2026; 411(10): 167–174.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-167-174>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-411-10-167-174

Yuriy V. Shevchenko ✉

Lyudmila Yu. Moskaleva

Tamara S. Troitskaya

Elena M. Troitskaya

Melitopol State University, Melitopol, Russia

✉ yurashev5@yandex.ru

Received by the editorial office: 20.06.2026

Accepted in revised: 10.09.2026

Accepted for publication: 26.09.2026

© Shevchenko Yu.V., Moskaleva L.Yu., Troitskaya T.S., Troitskaya E.M.

Personnel provision of the agro-industrial complex: a balance-based assessment of the contribution of higher agricultural education to covering the annual sectoral demand

ABSTRACT

Relevance. The Ministry of Agriculture of Russia estimates the annual personnel demand of the agro-industrial complex at 150–160 thousand people, while public estimates of the share of agricultural university graduates entering the sector range from 13 to 70%. The contribution of the university training segment to covering this demand has not been quantified, and the retention target has been related neither to the scale of the demand nor to its structure by qualification level.

Methods. A balance model of personnel reproduction with a lag between admission and graduation and with first-year outflow; the parameters are taken from the Ministry of Agriculture, the Ministry of Science and Higher Education and Rosstat; scenario and inverse calculations; decomposition of the demand by the educational level of the employed; one-way sensitivity analysis.

Results. With an admission of 73.6 thousand people and a graduation share of 0.636, the annual output is 46.8 thousand graduates. At a retention of 0.13 the university segment covers 3.8–4.1% of the total demand, at the target retention of 0.70 it covers 20.5–21.8%, and at complete retention 29.3–31.2%. The demand for specialists with higher education (15.3% of the employed) is covered at a retention of 0.49–0.52; the remaining 84.7% of the demand falls on workers with secondary vocational education and without vocational education, whom the university segment does not train. The spread of public retention estimates shifts the result by 8.2 percentage points, whereas admission, attrition, first-year outflow and demand shift it by no more than 1.2 points each. Three testable hypotheses on the determinants of retention are formulated for the empirical stage.

For citation: Shevchenko Yu. V., Moskaleva L. Yu., Troitskaya T. S., Troitskaya E. M. Personnel provision of the agro-industrial complex: a balance-based assessment of the contribution of higher agricultural education to covering the annual sectoral demand. *Agrarian science*. 2026; 411(10): 167–174 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-411-10-167-174>

Введение/Introduction

В 2024 году в аграрные вузы, подведомственные Минсельхозу России, принято около 79 тыс. человек, из них 42,8 тыс. зачислены на бюджетные места¹. Этого притока недостаточно: годовая потребность агропромышленного комплекса (АПК) в специалистах и рабочих оценивается Минсельхозом России в 150–160 тыс. человек², а накопленный дефицит кадров превышает 200 тыс. человек³. Ведомственные оценки доли выпускников аграрных вузов, приходящих в отрасль, различаются в несколько раз: 13% при учете занятости непосредственно в АПК⁴ и 40% при учете сельского хозяйства и смежных отраслей⁵; к 2030 году этот показатель предполагается довести до 70%⁶.

Кадровое обеспечение АПК исследуется по нескольким направлениям. Вклад сельской экономики в валовой внутренний продукт и в достижение национальных целей оценен количественно [1], а проблемы рынка труда выделены как фактор, сдерживающий развитие отрасли [2]. Прогнозные оценки спроса на труд в сельском хозяйстве по сценариям программных документов показывают снижение численности занятых при сохранении дефицита кадров [3]; сопоставление дефицита с выпуском аграрных образовательных организаций выполнено для 2023 года [4], а долгосрочная динамика занятости и производительности труда описана на рядах Росстата [5]. Дефицит кадров в аграрных регионах оценен комбинацией официальной статистики, данных рекрутинговых платформ и экспертных опросов [6].

Низкая закрепляемость кадров связывается с престижностью аграрных профессий и социальной инфраструктурой села [7], адаптация молодых специалистов описана как двухэтапный процесс [8], а сокращение рабочей силы сельских территорий [9] и миграционные потоки из села [10] характеризуют демографические условия отраслевого выбора. Отраслевая профориентация школьников [11] и среднее профессиональное аграрное образование [12] исследованы как самостоятельные каналы пополнения отрасли, а связь квалификации работников с рентабельностью предприятий обоснована на панельных данных [13]. Зарубежные работы моделируют намерение студентов аграрных вузов работать в отрасли через отношение к ней, воспринимаемый контроль и аграрные знания [14], связывают намерение молодежи заниматься сельским хозяйством с демографическими характеристиками и

содержанием образования [15], оценивают меры смены поколений в аграрном секторе [16, 17], дефицит сельскохозяйственного труда [18] и влияние старения аграрной рабочей силы на устойчивость отрасли [19]. Балансовая постановка, связывающая прием, выпуск и закрепляемость с потребностью отрасли и ее структурой по уровню квалификации, в перечисленных работах отсутствует.

В перечисленных работах закрепляемость выпускников рассматривается как задача профориентации, адаптации молодых специалистов и повышения престижа аграрных профессий [7, 8, 11] и измеряется долей трудоустроившихся по специальности. Вклад этой доли в покрытие отраслевой потребности количественно не оценен: при сопоставлении дефицита кадров с выпуском [4] и при прогнозе спроса на труд [3] параметр закрепляемости не выделяется. Поэтому неизвестно, какую часть потребности система высшего аграрного образования способна закрыть при полной закрепляемости и какой уровень закрепляемости необходим. Расхождение ведомственных оценок от 13 до 40% указывает на отсутствие единой методики учета, и без количественной модели нельзя установить, насколько оно меняет оценку вклада вузовского звена.

Цель работы состоит в том, чтобы количественно оценить вклад вузовского звена аграрного образования в покрытие годовой потребности АПК в кадрах и установить, какие параметры воспроизводства кадров определяют эту оценку.

Для достижения цели решались следующие задачи: 1) построить балансовую модель воспроизводства кадров с лагом между приемом и выпуском и оттоком первого года и определить значения ее параметров по первичным источникам; 2) выполнить сценарный и обратный расчет покрытия совокупной потребности отрасли и потребности в специалистах с высшим образованием; 3) провести анализ чувствительности оценки покрытия к каждому параметру модели; 4) сформулировать проверяемые гипотезы о детерминантах закрепляемости для эмпирического этапа исследования.

Гипотеза исследования состоит в том, что доля потребности, которую способно закрыть вузовское звено, ограничена структурой спроса по уровню квалификации в большей степени, чем уровнем закрепляемости: при целевой закрепляемости вузовское звено покрывает менее трети

¹ Итоги приёмной кампании 2024 года в аграрные вузы по данным Минсельхоза России, представленным на парламентских слушаниях Комитета Государственной Думы по аграрным вопросам 27.01.2025. URL: <https://www.interfax.ru/russia/1004817> (дата обращения: 16.09.2026).

² Оценки годовой потребности АПК в кадрах по данным Минсельхоза России: 160 тыс. человек (08.10.2025). URL: <https://www.interfax.ru/russia/1051528>; 150 тыс. человек (29.06.2026). URL: <https://www.interfax.ru/russia/1099047> (дата обращения: 16.09.2026).

³ Проект рекомендаций парламентских слушаний Комитета Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по аграрным вопросам, 27.01.2025. URL: <https://www.interfax.ru/russia/1004817> (дата обращения: 16.09.2026).

⁴ Оценка Минсельхоза России (сентябрь 2025 г.), приведённая в отраслевых изданиях: Агроинвестор, 14.05.2026. URL: <https://www.agroinvestor.ru/column/roman-potekhin/45963-prepodavateley-v-polya/>; Абирег, 02.03.2026. URL: <https://abireg.ru/newsitem/112623/> (дата обращения: 16.09.2026).

⁵ Оценка Минсельхоза России, приведённая в издании «Вестник АПК», 15.12.2025. URL: <https://vestnikapk.ru/articles/otraslevye-reytingi/agrarnoe-obrazovanie-na-gasrute/> (дата обращения: 16.09.2026).

⁶ Целевой ориентир Минсельхоза России, представленный на форуме агротехнологического образования 29.06.2026. URL: <https://www.interfax.ru/russia/1099047> (дата обращения: 16.09.2026).

совокупной потребности, тогда как потребность в специалистах с высшим образованием закрывается при закрепляемости ниже целевой.

Материал и методы исследования / Material and methods

Исследование выполнено в Мелитопольском государственном университете в 2025–2026 гг. по ведомственным и статистическим данным за 2021–2025 гг. Количественную основу образуют сведения Минсельхоза России об итогах приемных кампаний 2021, 2022 и 2024 годов и об оценках годовой потребности отрасли, данные Минобрнауки России об отчислении студентов в 2024/25 учебном году, данные Росстата о структуре занятых по уровню образования⁷, а также программные ориентиры Государственной программы развития сельского хозяйства и федерального проекта «Кадры в АПК»⁸. Оценки доли выпускников среднего профессионального образования, занятых в сельском хозяйстве, взяты из аналитического доклада Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)⁹. Нормативные, статистические и ведомственные источники приведены подстрочно и в библиографический список не включены; научные публикации использованы для постановки задачи и интерпретации результатов.

Годовой приток выпускников аграрных вузов в отрасль в году t описывается произведением четырех величин:

$$I(t) = A(t - L) \cdot s \cdot r \cdot (1 - q), \quad (1)$$

где: I — приток в отрасль, тыс. человек в год; A — прием на программы высшего образования в аграрные вузы, тыс. человек в год; L — лаг между приемом и выпуском, лет; s — доля обучающихся, доходящих до выпуска, в долях единицы; r — закрепляемость выпускников в отрасли, в долях единицы; q — отток из отрасли в первый год работы, в долях единицы.

Покрытие годовой потребности определяется отношением:

$$C = I / N, \quad (2)$$

где C — покрытие годовой потребности отрасли притоком выпускников, в долях единицы (в табл. 2

и 3 приведено в процентах); N — годовая потребность отрасли в кадрах, тыс. человек. Годовая потребность разложена по уровню образования занятых: для работников k -го уровня образования $N_k = w_k \cdot N$, где w_k — доля занятых с k -м уровнем образования в отрасли по данным обследования рабочей силы. Обратный расчет дает закрепляемость, необходимую для полного покрытия при сложившемся выпуске ($r_{\text{троб}} = N_k / (A \cdot s \cdot (1 - q))$), и выпуск, необходимый при целевой закрепляемости ($G_{\text{троб}} = N_k / (r_{\text{цел}} \cdot (1 - q))$).

Значения параметров приняты по первичным источникам и сведены в таблицу 1. Прием A принят равным 73,6 тыс. человек: из 79,0 тыс. первокурсников аграрных вузов 2024 года исключены 4,5 тыс. зачисленных на программы среднего профессионального образования и 0,9 тыс. зачисленных в аспирантуру и интернатуру. Лаг L принят равным четырем годам по продолжительности программ бакалавриата. Прием 2021 года, определяющий выпуск 2025 года, составил 81 тыс. человек по всем уровням¹⁰, что при структуре приема 2024 года соответствует 75,5 тыс. человек на программах высшего образования, а прием 2022 года на программы высшего образования снизился до 62 тыс. человек¹¹. Доля доходящих до выпуска s рассчитана по годовой доле отчисленных в системе высшего образования 10,7%¹² как $s = (1 - 0,107)^4 = 0,636$; для пятилетних программ специалитета $s = 0,568$, а при вдвое меньшем годовом отсеиве $s = 0,716$, что задает диапазон 0,57–0,72. Потребность N задана интервалом между двумя оценками Минсельхоза России 2025 и 2026 годов.

Сценарии закрепляемости r заданы четырьмя уровнями: 0,13 (занятость непосредственно в АПК), 0,40 (сельское хозяйство и смежные отрасли), 0,70 (целевой ориентир 2030 года) и 1,00 (гипотетический предел). Отток первого года q в открытой статистике не публикуется; в базовом расчете он принят равным нулю и варьируется в диапазоне 0–0,30 при анализе чувствительности.

Доли занятых по уровню образования в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве за 2024 год составляют: высшее — 15,3%, среднее профессиональное по программам подготовки специалистов среднего звена — 21,3%, по программам подготовки

⁷ Труд и занятость в России. 2025: статистический сборник. М.: Росстат, 2025. Табл. 1.48, 1.49. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Trud_2025.pdf (дата обращения: 16.09.2026).

⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия»; федеральный проект «Кадры в АПК» национального проекта «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности». URL: <https://xn--80aarpemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/tekhnologicheskoe-obespechenie-prodovolstvennoy-bezopasnosti/kadry-v-apk/> (дата обращения: 16.09.2026).

⁹ Выпускники среднего профессионального образования на российском рынке труда: аналитический доклад. М.: НИУ ВШЭ, 2023. Табл. 5.6. URL: <https://www.hse.ru/data/2024/03/01/2082513697/Выпускники%20СПО%202023.pdf> (дата обращения: 16.09.2026).

¹⁰ Данные Минсельхоза России, представленные на Всероссийском совещании с ректорами аграрных вузов 02.12.2021. URL: <https://www.yaragrovuz.ru/index.php/news/1970-ministr-selskogo-khozyajstva-rossii-d-n-patrushev-provel-vserossijskoe-soveshchanie-s-rektorami-agrarnykh-vuzov> (дата обращения: 16.09.2026).

¹¹ Итоги приёма 2022 года в аграрные образовательные организации по данным Комиссии по аграрному образованию (в изложении отраслевого портала Agro.Club). URL: <https://agro.club/tpost/z2feefoj1-agrarnie-spetsialnosti-snova-stali-prest> (дата обращения: 16.09.2026).

¹² Сведения Минобрнауки России об отчислении студентов в 2024/25 учебном году, приведённые в издании «Коммерсантъ», 06.11.2025. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8180914> (дата обращения: 16.09.2026).

Таблица 1. Параметры балансовой модели, их базовые значения, диапазоны и источники

Table 1. Parameters of the balance model, their base values, ranges and sources

Параметр	Обозначение	Базовое значение	Диапазон	Источник
Прием на программы высшего образования, тыс. чел./год	A	73,6	62,0–81,0	Минсельхоз России, итоги приемных кампаний 2021, 2022 и 2024 гг.
Лаг между приемом и выпуском, лет	L	4	4–5	продолжительность программ бакалавриата и специалитета
Доля доходящих до выпуска	s	0,636	0,568–0,716	расчет по годовой доле отчисленных 10,7% (Минобрнауки России, 2024/25 уч. г.)
Закрепляемость в отрасли	r	0,13	0,13–1,00	Минсельхоз России: оценки 2025 г. и целевой ориентир 2030 г.
Отток из отрасли в первый год работы	q	0	0–0,30	данные не публикуются; параметр чувствительности
Годовая потребность отрасли, тыс. чел.	N	155	150–160	Минсельхоз России, оценки 2025 и 2026 гг.
Доля занятых с высшим образованием	w _{во}	0,153	—	Росстат, обследование рабочей силы, 2024 г.

Примечание. Составлено авторами по источникам, приведенным в подстрочных сносках. Базовое значение N использовано в анализе чувствительности; в сценарном расчете потребность задана интервалом

квалифицированных рабочих — 23,1%, без профессионального образования — 40,3%.

Анализ чувствительности выполнен методом одностороннего варьирования: каждому параметру поочередно задавались нижняя и верхняя границы его диапазона при базовых значениях остальных, а результат фиксировался как изменение покрытия С в процентных пунктах. Поскольку модель (1) мультипликативна, эластичность покрытия по каждому параметру равна единице, и различие вклада параметров определяется только шириной их эмпирических диапазонов; анализ поэтому ранжирует параметры по вкладу в неопределенность оценки и форму связи не характеризует. Гипотезы о детерминантах закрепляемости сформулированы по результатам расчета и по данным опубликованных исследований отраслевого выбора; их проверка в задачи настоящей работы не входит.

Модель (1) описывает вузовское звено подготовки; звено среднего профессионального образования учтено через декомпозицию потребности и обратный расчет, поскольку прием и выпуск по укрупненным группам специальностей 35.00.00 и 36.00.00 за 2021–2025 гг. в открытой статистике не опубликованы. Параметр s принят единым для

всех направлений подготовки и рассчитан по отсеvu в системе высшего образования в целом, а не по аграрным вузам. Структура занятых по уровню образования взята по виду экономической деятельности «сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» и распространена на потребность АПК, включающую переработку. Расчеты выполнены в Microsoft Excel (США) по формулам (1) и (2) и воспроизводимы по данным таблицы 1.

Результаты и обсуждение /
Results and discussion

По первой задаче построена модель (1)–(2) с параметрами, приведенными в таблице 1; при базовых значениях параметров годовой выпуск равен 46,8 тыс. человек. Учет лага не меняет порядок величины: выпуск 2025 года, рассчитанный по приему 2021 года, составляет 48,0 тыс. человек, тогда как выпуск 2026 года по приему 2022 года снижается до 39,4 тыс. человек, что сократит приток кадров в 2026–2027 гг. при любом уровне закрепляемости. По второй задаче выполнен сценарный расчет (табл. 2, рис. 1): при сложившейся закрепляемости 0,13 приток в отрасль равен 6,1 тыс. человек, или 3,8–4,1% совокупной годовой потребности.

Таблица 2. Сценарный расчет притока выпускников аграрных вузов в АПК и покрытия совокупной потребности отрасли и потребности в специалистах с высшим образованием

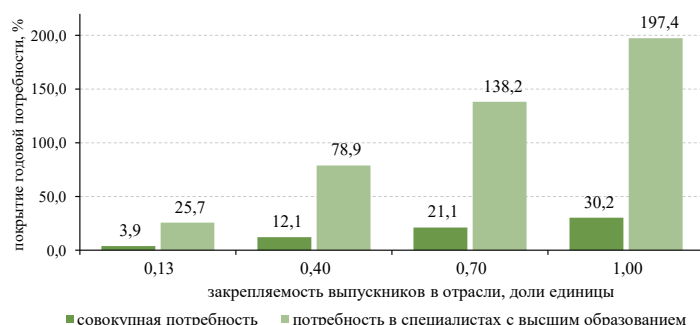
Table 2. Scenario calculation of the inflow of agricultural university graduates into the agro-industrial complex and of the coverage of the total sectoral demand and of the demand for specialists with higher education

Сценарий закрепляемости r	Приток, тыс. чел. в год	Покрытие совокупной потребности, %, при N = 150 тыс.	Покрытие совокупной потребности, %, при N = 160 тыс.	Покрытие потребности в кадрах с ВО, %, при N = 150 тыс.	Покрытие потребности в кадрах с ВО, %, при N = 160 тыс.
0,13 — занятость непосредственно в АПК	6,1	4,1	3,8	26,5	24,9
0,40 — сельское хозяйство и смежные отрасли	18,7	12,5	11,7	81,6	76,5
0,70 — целевой ориентир 2030 г.	32,8	21,8	20,5	142,8	133,9
1,00 — гипотетический предел	46,8	31,2	29,3	204,0	191,2

Примечание. Выпуск 46,8 тыс. чел./год при A = 73,6 тыс., s = 0,636, q = 0; потребность в специалистах с высшим образованием NBO = 0,153 · N = 23,0–24,5 тыс. чел./год. Рассчитано авторами по формулам (1) и (2)

Рис. 1. Покрытие годовой потребности АПК вузовским звеном при четырех сценариях закрепляемости выпускников: совокупная потребность и потребность в специалистах с высшим образованием (N = 155 тыс. человек в год), %

Fig. 1. Coverage of the annual demand of the agro-industrial complex by the university segment under four graduate retention scenarios: total demand and demand for specialists with higher education (N = 155 thousand people per year), %



Обратный расчет выполнен сначала для совокупной потребности. Ее полное покрытие при сложившемся выпуске потребовало бы закрепляемости 3,20–3,42 в долях единицы, то есть притока, втрое превышающего выпуск; при целевой закрепляемости 0,70 выпуск пришлось бы довести до 214–229 тыс. человек в год, то есть увеличить в 4,6–4,9 раза. При целевой и при полной закрепляемости покрытие совокупной потребности остаётся ниже трети (табл. 2).

Вторая часть расчета по той же задаче относится к потребности в специалистах с высшим образованием, которая при их доле 15,3% в численности занятых равна 23,0–24,5 тыс. человек в год. Для ее полного покрытия при сложившемся выпуске достаточно закрепляемости 0,49–0,52, а при целевых 0,70 выпуск может быть на 25–30% ниже нынешнего (32,8–35,0 тыс. человек). Оставшиеся 84,7% потребности приходятся на работников со средним профессиональным образованием (44,4%) и без профессионального образования (40,3%), которых вузовское звено не готовит. По данным НИУ ВШЭ, в сельском хозяйстве заняты 22,1–32,0% выпускников аграрных специальностей среднего профессионального образования; при такой закрепляемости покрытие потребности в работниках со средним профессиональным образованием (66,6–71,0 тыс. человек в год) потребовало бы выпуска 208–323 тыс. человек в год.

Гипотеза исследования подтверждается: вклад вузовского звена ограничен структурой спроса по уровню квалификации в большей степени, чем уровнем закрепляемости.

По третьей задаче выполнен анализ чувствительности покрытия совокупной потребности (табл. 3). Варьирование приема, доли доходящих до выпуска, потребности и оттока первого года смещает оценку покрытия на 0,3–1,2 процентного пункта по каждому параметру. Переход от оценки закрепляемости 0,13 к оценке 0,40, различающихся только границей учета занятости, смещает покрытие на 8,2 пункта, а переход к целевым 0,70 — на 17,2 пункта. Разброс методик учета закрепляемости, таким образом, превышает суммарный размах остальных параметров (3,4 пункта), и без единой ведомственной методики оценка вклада вузовского звена различается втрое (3,9 и 12,1%).

Полученные оценки согласуются с сопоставлением дефицита и выпуска аграрных образовательных организаций за 2023 год [4] и с прогнозом сохранения дефицита при снижении численности занятых [3], но уточняют их в двух отношениях. Во-первых, целевой ориентир закрепляемости 70% избыточен для потребности в специалистах с высшим образованием и недостаточен для совокупной потребности, поскольку смешивает звенья подготовки с разной ёмкостью. Во-вторых, различие оценок закрепляемости 13 и 40% отражает границу учета занятости (непосредственно в АПК либо с учётом смежных отраслей), но не динамику показателя, и эта граница определяет результат сильнее любого параметра воспроизводства.

Отставание заработной платы в сельском хозяйстве от средней по экономике согласуется с объяснением низкой закрепляемости через престижность профессий и инфраструктуру села [7] и с выводами о стратегиях привлечения молодежи в отрасль [20].

По четвертой задаче на основе результатов расчета и опубликованных исследований сформулированы три проверяемые гипотезы для эмпирического этапа.

Таблица 3. Чувствительность покрытия совокупной потребности С к параметрам модели (базовое значение С = 3,9%)

Table 3. Sensitivity of the coverage of the total demand C to the model parameters (base value C = 3.9%)

Параметр	Диапазон варьирования	С при нижней границе, %	С при верхней границе, %	Размах, п. п.
Прием А, тыс. чел./год	62,0–81,0	3,3	4,3	1,0
Доля доходящих до выпуска s	0,568–0,716	3,5	4,4	0,9
Годовая потребность N, тыс. чел.	150–160	4,1	3,8	0,3
Отток первого года q	0–0,30	3,9	2,8	1,2
Закрепляемость r (граница учёта занятости)	0,13–0,40	3,9	12,1	8,2
Закрепляемость r (целевой ориентир)	0,13–0,70	3,9	21,1	17,2

Примечание. Одностороннее варьирование при базовых значениях остальных параметров (A = 73,6; s = 0,636; r = 0,13; q = 0; N = 155). Рассчитано авторами

Первая: закрепляемость различается по направлениям подготовки, и ее оценка по совокупности выпускников скрывает различия между ветеринарными, агроинженерными и экономическими программами; для проверки необходим учёт трудоустройства по направлениям.

Вторая: намерение выпускника работать в отрасли определяется отношением к аграрному труду, воспринимаемым контролем над карьерой и сельским происхождением, как показано на выборах студентов аграрных вузов Малайзии [14] и Индонезии [15]; обследование студентов российских аграрных вузов позволит оценить переносимость этих результатов.

Третья: целевое обучение повышает закрепляемость; число зачисленных по целевым договорам выросло с 4,1 тыс. человек в 2024 году до 8,4 тыс. в 2025 году¹³, и для проверки необходимо сопоставление закрепляемости целевых и нецелевых выпускников одних и тех же когорт.

Каждая гипотеза сформулирована как утверждение о параметре r модели (1), и ее подтверждение уточнит базовый расчет без изменения структуры модели.

Из полученных оценок следуют три направления совершенствования управления кадровым обеспечением АПК. Первое: раздельная постановка целевых показателей для вузовского звена и звена среднего профессионального образования с расчётом требуемой закрепляемости и выпуска по каждому уровню образования, поскольку единый ориентир закрепляемости не соотносится со структурой потребности. Второе: введение единой ведомственной методики учета закрепляемости с фиксированной границей отрасли и сроком наблюдения, поскольку от границы учета зависит основная часть неопределённости оценки. Третье: учет лага между приемом и выпуском в планировании потребности, поскольку сокращение приема 2022 года проявится в выпуске 2026–2027 гг. Требования к содержанию подготовки определяются цифровизацией отрасли [21], а зарубежный опыт показывает, что меры поддержки молодых аграриев воспринимаются прежде всего как поддержка дохода [22], что согласуется со значимостью уровня оплаты труда.

Ограничения работы определяются доступностью данных. Параметры A , s и r приняты по

публичным оценкам и подлежат уточнению по формам ведомственной статистической отчетности; отток первого года q в открытых источниках отсутствует и введен только как параметр чувствительности. Звено среднего профессионального образования оценено только обратным расчётом. Гипотезы о детерминантах закрепляемости эмпирически не проверены; их эмпирическая проверка на выборке студентов аграрных вузов и построение динамической версии модели по когортам приема составляют задачу следующего этапа.

Выводы/Conclusion

Построенная балансовая модель воспроизводства кадров АПК связывает прием в аграрные вузы, лаг между приемом и выпуском, долю доходящих до выпуска, закрепляемость и отток первого года с годовой потребностью отрасли и ее структурой по уровню образования; значения параметров приняты по первичным источникам. Расчет показал, что вузовское звено покрывает 3,8–4,1% совокупной годовой потребности при сложившейся закрепляемости 0,13 и не более 31,2% при полной, тогда как потребность в специалистах с высшим образованием закрывается при закрепляемости 0,49–0,52. Вклад высшего аграрного образования, следовательно, ограничен структурой потребности: 84,7% ее приходится на работников, которых вузовское звено не готовит.

Анализ чувствительности показал, что оценку покрытия определяет граница учета закрепляемости: разброс ведомственных оценок смещает ее на 8,2 процентного пункта, а прием, доля доходящих до выпуска, отток первого года и потребность — не более чем на 1,2 пункта каждый. Единая ведомственная методика учета закрепляемости и раздельные целевые показатели для вузовского звена и звена среднего профессионального образования являются условием количественной постановки кадровой задачи. Для эмпирического этапа сформулированы три проверяемые гипотезы о параметре закрепляемости: различие по направлениям подготовки, влияние отношения к аграрному труду и сельского происхождения, эффект целевого обучения.

¹³ Итоги целевого приёма в аграрные вузы 2024 и 2025 годов по данным Минсельхоза России. URL: <https://svoevagro.ru/news/nazvany-samyie-populyarnye-agrarnye-spetsialnosti-v-rossiyskikh-vuzakh>; <https://volodga-poisk.ru/news/obrazovanie/tselevoy-priem-v-agrarnye-vuzy-rf-vyros-bolee-chem-na-20> (дата обращения: 16.09.2026).

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания FRRS-2026-0008 «Аксиологические основы стратегии развития современной педагогики на постсоветском образовательном пространстве».

FUNDING

The study was conducted within the framework of state assignment FRRS-2026-0008, "Axiological Foundations of the Development Strategy for Modern Pedagogy in the Post-Soviet Educational Space."

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Баутин В.М., Голубев А.В. Вклад сельской экономики в ВВП России и реализацию целей национального развития. *Аграрная наука*. 2025; (7): 178–185. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-178-185>
- Астафьева О.В., Ульянова С.А., Передних Л.В. Проблемы рынка труда как фактор, сдерживающий развитие АПК России. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2025; (11): 154–161. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-11-154-161>
- Былина С.Г. Прогнозные оценки спроса на труд в сельском хозяйстве России. *АПК: экономика, управление*. 2025; (3): 124–134. <https://doi.org/10.33305/253-124>
- Курдюмов А.В., Шайбакова Л.Ф., Морозова Г.М., Мещерягина В.А. Оценка кадровой обеспеченности сельского хозяйства для устойчивого развития аграрного сектора. *Экономика сельского хозяйства России*. 2025; (3): 66–72. <https://doi.org/10.32651/253-66>
- Герасимов А.Н., Скрипниченко Ю.С., Леликова Е.И. Занятость и производительность труда в сельском хозяйстве России: хронология изменений и современные вызовы. *Экономика сельского хозяйства России*. 2025; (10): 34–40. <https://doi.org/10.32651/2510-34>
- Барышникова Н.А., Киреева Н.А., Мартынович В.И. Дефицит кадров в сельском хозяйстве аграрных регионов России. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2025; (6): 720–726. https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_6_720
- Чайникова Л.Н., Мирзалаев Р.В. Развитие кадрового потенциала сельского хозяйства как фактор сокращения диспропорций на рынке труда. *АПК: экономика, управление*. 2025; (1): 108–114. <https://doi.org/10.33305/251-108>
- Сёмин А.Н. Адаптация молодых специалистов к работе в хозяйствующих субъектах, размещенных на сельских территориях. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2022; (8): 45–49. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2022-0-8-45-49>
- Полторыкина С.В., Гарасимчук Е.Г. Перспективы развития трудового потенциала сельских территорий России как фактора решения проблемы кадрового дефицита. *Экономика сельского хозяйства России*. 2024; (12): 44–51. <https://doi.org/10.32651/2412-44>
- Копылова Ю.В. Миграционные процессы на селе и альтернативная занятость сельского населения. *Аграрный вестник Урала*. 2023; 23(10): 134–144. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-134-144>
- Зенкин М.А., Пронкин В.Н., Павлова Т.Б. Отраслевые практики профориентации школьников как инструмент подготовки кадров для регионального агропромышленного комплекса. *Аграрная наука*. 2026; (1): 154–160. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-154-160>
- Шилова А.Э., Чуркина Е.С. Среднее профессиональное аграрное образование как фактор формирования человеческого капитала и повышения конкурентоспособности АПК региона (анализ на примере регионов Сибирского федерального округа). *АПК: экономика, управление*. 2025; (7): 89–99. <https://doi.org/10.33305/257-89>
- Шмелева А.В. Анализ взаимосвязи между уровнем квалификации работников на производстве и показателями прибыли: экономическое обоснование инвестиций в обучение персонала. *Аграрная наука*. 2024; (11): 30–33. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-30-33>
- Zaremozhzabieh Z., Krauss S.E., D'Silva J.L., Tiraiyari N., Ismail I.A., Dahalan D. Towards agriculture as career: predicting students' participation in the agricultural sector using an extended model of the theory of planned behavior. *The Journal of Agricultural Education and Extension*. 2022; 28(1): 67–92. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2021.1910523>
- Haryati N., Lasitya D.S., Nurirrozak M.Z., Herdianti D.F., Fibriantingtyas A., Hidayat A.R.T. Demographics and course choices: impact on youth farming intention in Indonesia. *International Journal of Adolescence and Youth*. 2024; 29(1): 2358088. <https://doi.org/10.1080/02673843.2024.2358088>
- Mattas K. et al. Facilitating generational renewal in rural areas by responding to young farmers' voices: Echoes from the Greek territory. *Journal of Rural Studies*. 2024; 112: 103480. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103480>
- Sivini S., Vitale A. Multifunctional and Agroecological Agriculture as Pathways of Generational Renewal in Italian Rural Areas. *Sustainability*. 2023; 15(7): 5990. <https://doi.org/10.3390/su15075990>
- Kovács K., Váradi M.M. 'We need to stay alive': ethnicisation and shortage of farm labour in Hungary. *Scottish Geographical Journal*. 2024; 140(1–2): 136–154. <https://doi.org/10.1080/14702541.2023.2287442>
- Zhang H., Li J., Quan T. Strengthening or Weakening: The Impact of an Aging Rural Workforce on Agricultural Economic Resilience in China. *Agriculture*. 2023; 13(7): 1436. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071436>
- Полевая М.В. Стратегии привлечения молодежи (поколения Z) в сельское хозяйство: от аграрного ребрендинга до цифровых профессий будущего. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2025; (7): 104–110. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-7-104-110>
- Буреаева Е.В. Система подготовки кадров для цифрового сельского хозяйства: основные перспективы и ограничения. *Вестник аграрной науки*. 2023; (4): 132–139. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666x.2023.4.132>
- Balezantis T., Ribasauskiene E., Morkunas M., Volkov A., Streimikiene D., Toma P. Young farmers' support under the Common Agricultural Policy and sustainability of rural regions: Evidence from Lithuania. *Land Use Policy*. 2020; 94: 104542. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104542>

REFERENCES

- Bautin V.M., Golubev A.V. The contribution of the rural economy to Russia's GDP and the implementation of national development goals. *Agrarian science*. 2025; (7): 178–185 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-178-185>
- Astafeva O.V., Ulyanova S.A., Perednikh L.V. Labor market problems as a factor constraining the development of the Russian agro-industrial complex. *Economy of agricultural and processing enterprises*. 2025; (11): 154–161 (in Russian). <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-11-154-161>
- Bylina S.G. Forecast estimates of labor demand in agriculture in Russia. *AIC: economics, management*. 2025; (3): 124–134 (in Russian). <https://doi.org/10.33305/253-124>
- Kurdumov A.V., Shaibakova L.F., Morozova G.M., Meshcheriagina V.A. Assessment of personnel availability of agriculture for sustainable development of the agricultural sector. *Economics of Agriculture of Russia*. 2025; (3): 66–72 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/253-66>
- Gerasimov A.N., Skripnichenko Yu.S., Lelikova E.I. Employment and labor productivity in agriculture in Russia: chronology of changes and modern challenges. *Economics of Agriculture of Russia*. 2025; (10): 34–40 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/2510-34>
- Baryshnikova N., Kireeva N., Martynovich V. Labour shortage in agriculture in the agrarian regions of Russia. *International Agricultural Journal*. 2025; (6): 720–726 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2025_68_6_720
- Chainikova L.N., Mirzabalaev R.V. Development of human resources potential in agriculture as a factor in reducing imbalances in the labor market. *AIC: economics, management*. 2025; (1): 108–114 (in Russian). <https://doi.org/10.33305/251-108>
- Semin A.N. Adaptation of young specialists in business subjects placed in rural territories. *Economy of agricultural and processing enterprises*. 2022; (8): 45–49 (in Russian). <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2022-0-8-45-49>
- Poltorykhina S.V., Garasimchuk E.G. Prospects for the development of the labor potential of rural areas of Russia as a factor in solving the problem of personnel shortage. *Economics of Agriculture of Russia*. 2024; (12): 44–51 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/2412-44>
- Kopylova Yu.V. Migration processes in rural areas and alternative employment of rural population. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23(10): 134–144 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-134-144>
- Zenkin M.A., Pronkin V.N., Pavlova T.B. Sectoral practices of career guidance for schoolchildren as a training tool for the regional agro-industrial complex. *Agrarian science*. 2026; (1): 154–160 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-154-160>
- Shilova A.E., Churkina E.S. Secondary professional agricultural education as a factor of the human capital's formation and the increasing of region's agro-industrial complex competitiveness (the example of the regions in the Siberian Federal District). *AIC: economics, management*. 2025; (7): 89–99 (in Russian). <https://doi.org/10.33305/257-89>
- Shmeleva A.V. Analysis of the relationship between the level of qualification of workers in production and profit indicators: an economic rationale for investing in personnel training. *Agrarian science*. 2024; (11): 30–33 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-30-33>
- Zaremozhzabieh Z., Krauss S.E., D'Silva J.L., Tiraiyari N., Ismail I.A., Dahalan D. Towards agriculture as career: predicting students' participation in the agricultural sector using an extended model of the theory of planned behavior. *The Journal of Agricultural Education and Extension*. 2022; 28(1): 67–92. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2021.1910523>
- Haryati N., Lasitya D.S., Nurirrozak M.Z., Herdianti D.F., Fibriantingtyas A., Hidayat A.R.T. Demographics and course choices: impact on youth farming intention in Indonesia. *International Journal of Adolescence and Youth*. 2024; 29(1): 2358088. <https://doi.org/10.1080/02673843.2024.2358088>
- Mattas K. et al. Facilitating generational renewal in rural areas by responding to young farmers' voices: Echoes from the Greek territory. *Journal of Rural Studies*. 2024; 112: 103480. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103480>
- Sivini S., Vitale A. Multifunctional and Agroecological Agriculture as Pathways of Generational Renewal in Italian Rural Areas. *Sustainability*. 2023; 15(7): 5990. <https://doi.org/10.3390/su15075990>
- Kovács K., Váradi M.M. 'We need to stay alive': ethnicisation and shortage of farm labour in Hungary. *Scottish Geographical Journal*. 2024; 140(1–2): 136–154. <https://doi.org/10.1080/14702541.2023.2287442>
- Zhang H., Li J., Quan T. Strengthening or Weakening: The Impact of an Aging Rural Workforce on Agricultural Economic Resilience in China. *Agriculture*. 2023; 13(7): 1436. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071436>
- Polevaya M.V. Strategies for attracting young people (Generation Z) to agriculture: from agricultural rebranding to digital professions of the future. *Economy of agricultural and processing enterprises*. 2025; (7): 104–110 (in Russian). <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2025-0-7-104-110>
- Buraeva E.V. Personnel training system for digital agricultural economy: main perspectives and limitations. *Bulletin of agrarian science*. 2023; (4): 132–139 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666x.2023.4.132>
- Balezantis T., Ribasauskiene E., Morkunas M., Volkov A., Streimikiene D., Toma P. Young farmers' support under the Common Agricultural Policy and sustainability of rural regions: Evidence from Lithuania. *Land Use Policy*. 2020; 94: 104542. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104542>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юрий Васильевич Шевченко

кандидат педагогических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник
<https://orcid.org/0009-0000-7123-3045>
yurashev5@yandex.ru

Людмила Юрьевна Москалева

доктор педагогических наук, профессор, проректор
по научной и инновационной деятельности, профессор
кафедры педагогики и психолого-педагогического
образования
<https://orcid.org/0000-0002-3428-8685>
moskaleva2023@yandex.ru

Тамара Серафимовна Троицкая

доктор философских наук, профессор,
главный научный сотрудник НИИ философии
и методологии образования
<https://orcid.org/0009-0008-9906-4042>
troizkatamara@yandex.ru

Елена Михайловна Троицкая

доктор философских наук, профессор,
профессор кафедры педагогики
и психолого-педагогического образования
<https://orcid.org/0009-0001-9551-7971>
Troizkaelena@yandex.ru

Мелитопольский государственный университет,
проспект им. Богдана Хмельницкого, 18, Мелитополь,
272312, Россия

AUTHORS' INFORMATION

Yuriy Vasilyevich Shevchenko

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Leading Researcher
<https://orcid.org/0009-0000-7123-3045>
yurashev5@yandex.ru

Lyudmila Yurievna Moskaleva

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Vice-Rector for Research and Innovation,
Professor of the Department of Pedagogy
and Psychological and Pedagogical Education
<https://orcid.org/0000-0002-3428-8685>
moskaleva2023@yandex.ru

Tamara Serafimovna Troitskaya

Doctor of Philosophical Sciences, Professor,
Chief Researcher of the Research Institute
of Philosophy and Methodology of Education
<https://orcid.org/0009-0008-9906-4042>
troizkatamara@yandex.ru

Elena Mikhailovna Troitskaya

Doctor of Philosophical Sciences, Professor, Professor
of the Department of Pedagogy and Psychological
and Pedagogical Education
<https://orcid.org/0009-0001-9551-7971>
Troizkaelena@yandex.ru

Melitopol State University,
18 Bogdan Khmel'nitsky Avenue, Melitopol, 272312, Russia